

172 | Oktober 1966

SCHRIFTENREIHE SCHIFFBAU

B. Wagner

Windkanalversuche mit dem Takelagemodell einer Viermastbark

TUHH

Technische Universität Hamburg-Harburg

2. Entwurf

INSTITUT FÜR SCHIFFBAU DER UNIVERSITÄT HAMBURG
Bericht Nr. 172

Windkanalversuche mit dem Takelagemodell einer Viermastbark

von

B. Wagner

Hamburg, Oktober 1966

Windkanalversuche mit dem Takelagemodell einer Viermastbark

von

B. Wagner

Im vorliegenden Bericht werden Versuche mit dem Takelagemodell einer Viermastbark beschrieben und die Ergebnisse der Versuche erläutert. Die Ergebnisse werden in dimensionsloser Form dargestellt, und zwar sowohl in Abhängigkeit vom seitlichen Einfallswinkel des Windes und vom Raheinstellwinkel zur Schiffslängsebene, als auch in der für die Segeltheorie wichtigen Polarenform.

Ein Vergleich der Takelagemessungen mit und ohne Stagesegel zeigte, daß die Stagesegel die Vortriebskraft der Takelage ungünstig beeinflussen.

Gliederung

1. Einführung
2. Versuchseinrichtung und Modell
 - 2.1. Versuchseinrichtung
 - 2.2. Modell
3. Versuche und Versuchsergebnisse
 - 3.1. Versuche
 - 3.2. Versuchsergebnisse
 - 3.3. Bemerkungen über Meßgenauigkeit, Versperrungseinflüsse und Reynoldszahlen
 - 3.4. Vergleich der Segelpolaren
 - 3.5. Folgerungen
4. Symbole
5. Schrifttum

1. Einführung

Im Rahmen des am Institut für Schiffbau laufenden und vom Forschungsrat der Freien und Hansestadt Hamburg geförderten Forschungsvorhabens "Windkräfte an Schiffen" besteht eine Teilaufgabe darin, zu prüfen, ob der Windantrieb für Handelsschiffe nach dem heutigen Stand der Aerodynamik derart verbessert werden kann, daß ein wirtschaftlicher Einsatz mit Wind angetriebener Schiffe für bestimmte Transportaufgaben in einigen Seegebieten möglich ist. Insbesondere sollen die erreichbaren Geschwindigkeiten konventioneller Segelschiffe und im Vergleich dazu die möglichen Geschwindigkeiten von Neuentwürfen berechnet werden.

Zu diesem Zwecke wurde am Institut für Schiffbau ein Verfahren entwickelt, daß die Berechnung der Fahrtgeschwindigkeit von Segelschiffen in Abhängigkeit von Wandstärke und Kurs zum Wind gestattet, wenn die Luftkräfte an der Takelage und die Wasserkräfte am Rumpf, z.B. in Form von Windkanalversuchsergebnissen, sowie Geradeaus- und Schrägschleppversuchsergebnisse vorliegen [1]. Der vorliegende Bericht enthält die mit dem Takelagemodell einer Viermastbark (Typ "PAMIR"/"PASSAT") im Windkanal erhaltenen Versuchsergebnisse.

Außer dem voll getakelten Modell ("alle Segel") wurde zur Ermittlung des Einflusses der Stagesegel das Modell ohne Stagesegel sowie ein Reffzustand ("ohne Bramstagesegel und Royals") und das Modell ohne Segel bei "vierkant" gebrauten Rahen untersucht.

Versuchsergebnisse von Takelagemodellen großer Segelschiffe liegen bisher - sieht man von Crosecks Messungen an dem Modell einer Schoonerbrigg ab [2] - in der Literatur noch nicht vor. Sie werden aus diesem Grunde in diesem Bericht möglichst ausführlich dargestellt. Im Jahre 1962 war bereits ein Modell des Großmastes des Fünfmast-Vollschiffes "Preußen" im Windkanal geprüft worden [5]. Weitere Untersuchungen hatten sich auf aerodynamische Teilprobleme einer neuartigen Rahmastkonstruktion (nach Prölss) erstreckt [6], [7], [8]. Im Institutsbericht Nr.173 [9] werden die mit dem Takelagemodell eines Seglers nach Prölss im Windkanal erhaltenen Ergebnisse dargelegt. Im Bericht Nr.173 ist auch ein Vergleich der Ergebnisse für die herkömmliche und die neuartige Takelageform enthalten.

2. Versuchseinrichtung und Modell

2.1. Versuchseinrichtung (vgl. Fig.2)

Die Versuche wurden im neuen Windkanal des Instituts für Schiffbau durchgeführt.

Der quadratische Vorkammerquerschnitt des Windkanals (16 m^2) wird auf einen kreisförmigen Austrittsquerschnitt von 2 m Durchmesser umgeformt. Für normale Messungen wird ein Strahldurchmesser von 1,20 m benutzt, den man durch eine spezielle Düse erhält, die den Strahl von 2 m auf 1,20 m Durchmesser reduziert.

Um den Strahl optimal ausnutzen und möglichst große Modelle untersuchen zu können, wurde für die beschriebenen Versuche der Strahl von 2 m Durchmesser durch eine Rechteckübergangsdüse auf einen Rechteckquerschnitt von 1,750 m Breite und 1,050 m Höhe umgeformt. An die Rechteckübergangsdüse schließt unmittelbar die Bodenplatte an, die den Strahl nach unten begrenzt. Zur Ableitung der Kanalgrenzschicht wurde die Bodenplatte 50 mm über dem unteren Düsenrand angebracht. Dadurch wurde eine bis auf die Anlaufgrenzschicht homogene Verteilung der Strahlgeschwindigkeiten erreicht (vgl. Fig.3). Die Bodenplatte (2,40 m breit und 3,90 m lang) besteht aus dickem, beidseitig mit Kunststoff beschichtetem Sperrholz (20 mm dick) und wurde kastenförmig versteift. In die Bodenplatte ist im Abstand $x = 1,375 \text{ m}$ vom Düsenaustritt eine Drehscheibe von 1,70 m Durchmesser mit 2 mm Spalt niveaugleich eingelassen. In der Mitte besitzt die Drehscheibe eine Modellwanne (1,50 m x 0,30 m) mit in der Höhe verstellbarem Boden, auf dem das zu untersuchende Modell befestigt wird.

Je nach der Einstellung des Wannensbodens kann jedes Modell bei verschiedenen Tiefgängen und Trimmlagen untersucht werden. Nach dem Modelleinbau wird die Wanne durch der Wasserlinie angepasste Schablonen, die am Modell dicht mit Plastilin angeschlossen werden, bündig mit der Drehscheibe abgedeckt.

Die Drehscheibe wird durch einen dreiarmigen Konsolstern mit der Drehvorrichtung (ein Spindeltrieb erlaubt kontinuierliche Drehung und Feststellung der Drehscheibe) der Dreikomponenten-Federgelenkwaage verbunden. Die Waage besitzt drei Meßdosen (Hottinger-Baldwin) mit 20 kp Meßbereich.

Die beiden Kraftmeßdosen D_1 und D_2 für Widerstand und Giermoment liegen ca. 1,50 m auseinander (vgl. Fig. 2b). Das bedingt eine geringere Genauigkeit der Messung kleiner Momente.

Das beträchtliche Gewicht der Drehscheibe mit eingebautem Modell wird durch einen Styropor-Schwimmer in einem Schwimmergefäß mit Wasser ausgeglichen, so daß die Waage nicht durch größere Vertikalkräfte belastet wird.

Hinter der Drehscheibe wurde oberhalb der Bodenplatte eine "slit wall" ("Schlitzwandstrecke") vom Querschnitt des Austritts der Rechteckübergangsdüse (1,750 m x 1,00 m) aus 0,125 m breiten, 1,707 m langen Kunststoff-Latten mit 0,04 m Abstand voneinander angebracht. Die Meßwerte der elektrischen Meßdosen (DMS-Aufnehmer) wurden auf Trägerfrequenz-Meßverstärker (Typ Hottinger-Baldwin KWS/II-5) übertragen und dort abgelesen.

2.2. Modell (vgl. Fig.4)

Als Modell wurde eine Viermastbark des Typs gewählt, den die Reederei Laeisz noch zu Beginn des Jahrhunderts mit geringen Abweichungen voneinander in größerer Zahl bauen ließ, und von dem die PAMIR und die PASSAT noch nach dem Kriege eingesetzt wurden. Die Takelage entspricht dem von Laas 1907 [3] veröffentlichten Segelriß der PAMIR. Die Linien des Rumpfes wurden dem Hilfsbuch für den Schiffbau von Johow-Foerster [4] entnommen.

Das Modell wurde im Maßstab 1:96 der Großausführung gebaut. Die Wahl der Modellgröße erfolgte nach folgenden Gesichtspunkten: aus Gründen der Modellherstellung, der "Handlichkeit" des Modells beim Versuch und zur Erzielung möglichst großer Reynoldszahlen sollte das Modell nicht zu klein werden. Um den Einfluß der Strahlversperrung auf die Meßergebnisse möglichst klein zu halten, sollte das Modell so klein gewählt werden, daß die maximale Strahlversperrung kleiner als 0,250 ist (vgl. IfS-Bericht Nr.160 [10]). Daraus ergab sich die gewählte Modellgröße.

Daten und Hauptabmessungen

	Großausführung (POLA nach [4])	Modell 1:96
Länge über alles	104,95 m	1,098 m
Länge zw. d. Loten	96,01 m	1,000 m
Breite	14,325 m	0,149 m
Seitenhöhe	8,53 m	0,089 m
Tiefgang	7,22 m	0,075 m (mit Kiel)
Segelflächen A	ca. 3740 m ²	0,4316 m ² (alle Segel) $\Lambda = 0,695$
		0,3248 m ² (ohne Stagsegel) $\Lambda = 0,924$
		0,3725 m ² (o. Royals u. Bram- stagsegel) $\Lambda = 0,615$
Rumpflateralfläche A_{yR}		0,0467 m ²

Der Rumpf wurde aus Teakholz gefertigt. Schanzkleid, Takelageteile und Geländer wurden aus Messing hergestellt.

Das Modell weist gegenüber der Großausführung folgende wesentliche Unterschiede auf, die nicht nur auf versuchstechnische Vereinfachungen hinauslaufen, sondern auch einer Unterdrückung widerstandserhöhender Maßstabeffekte kleiner Bauteile dienen (vgl. 333333):

1. Die Masten stehen senkrecht und sind aus einem Teil gefertigt. Sie sind an Deck in Hülzen gelagert und können zur Verwirklichung unterschiedlicher Rahenstellungen gedreht und unter verschiedenen Winkeln eingespannt werden.
2. Die Rahen sind fest am Mast angeklemt. Brassens fehlen. Eine Brassung erfolgt durch Drehen des gesamten Mastes mit festgeklemmten Rahen. Ein Auffächern der Rahen nach oben zu, wie es in der Praxis der großen Segler üblich war, ist möglich, da die Rahen am Mast lediglich angeklemt sind. Es wurde aber im Versuch nicht ausgeführt, da es wegen der im Windkanal homogenen Geschwindigkeitsverteilung der Höhe nach aerodynamisch nicht erforderlich ist.

3. Zur Erleichterung der Mastdrehung sind die Stage und Wanten an Ringen befestigt, die auf an den Masten angebrachten Tragringen gleiten.
4. Das stehende und laufende Gut wurde auf das nötigste beschränkt.

Die Segel wurden aus Segeltuch Dacron 100 g/m^2 genäht. Auch hier gibt es Unterschiede zwischen Modell und Großausführung. Durch das unterschiedliche Verhältnis von Segelgewicht, Segelsteifigkeit und Winddruckbelastung fallen die Segel unter Belastung etwas anders als die der Großausführung. Es war außerdem schwierig, die durch unterschiedliche Dehnbarkeit des Segeltuchs in der Mitte und der durch Lieken verstärkten Randzone entstehende "Kissenform" der Rahsegelwölbung im Modell zu verwirklichen. Bei den großen Rahsegeln ist diese "Kissenform" durch Geitaeinschnürungen noch gegliedert.

3. Versuche und Versuchsergebnisse

3.1. Versuche

Die Versuche wurden nur für den Konstruktionstiefgang, und zwar ohne Krängung und Trimm durchgeführt. Das erschien ausreichend, da die Luftkräfte auf den Überwasserrumpf klein im Vergleich zur Luftkraft auf die Segel sind.

Während der Messung wurde der Vorkammerdruck konstant gehalten.

Strahlquerschnitt:	$1,750 \text{ m}^2$
Strahlgeschwindigkeiten:	12,90 bzw. 18,20 m/s
Staudrucke:	10,1 bzw. 20,2 kp/m^2
Reynoldszahlen $R_n =$	$0,325 \cdot 10^6$ (maximal, bezogen auf größte Rahlänge)
Strahlversperrungen $\frac{A+A_{VR}}{A_S} =$	0,273 (alle Segel)
	0,212 (ohne Stagegel)
	0,246 (Reffzustand)

Versuchsdurchführung

Obgleich für die weitere Auswertung "Segelpolaren" interessieren, d.h. für verschiedene Kurse zum scheinbaren Wind die Abhängigkeit des Querkraftbeiwertes c_C vom zugehörigen Widerstandsbeiwert d_D für verschiedene Raheanströmwinkel ϵ_S , wurde aus systematischen und versuchstechnischen Gründen folgendermaßen vorgegangen:

Alle Masten wurden in einen bestimmten Raheinstellwinkel δ_S zur Schiffflängsachse gedreht und festgesetzt. Die Untersegel und die Stagssegel wurden dann so geschotet, daß sie bei einem Anströmwinkel ϵ_S von 15 bis 30° gut standen. Gemessen wurden dann auch die nichtoptimalen Zustände, beginnend mit $\epsilon = \delta_S$ (Strömung in Richtung der Rah) bis $\epsilon = \delta_S + 90^\circ$ (Strömung senkrecht zur Rah).

Der Besan wurde so geschotet, daß er bei kleinstem Brassungswinkel der Rahen ($\delta_S = 30^\circ$) mittschiffs stand und bei "vierkant" ($\delta_S = 90^\circ$) gebraßten Rahen am weitesten gefiert war (45° zur Schiffslängsebene). Zwischenstellungen wurden linear interpoliert.

Der Rahwinkel δ_S wurde in Intervallen von 5° geändert, beginnend bei der "Extremstellung", d.h. die Rahen sind $\delta_S = 30^\circ$ zur Schiffslängsebene gebraßt, bis zur "negativen" Brassung $\delta_S = 120^\circ$. Um den Einfluß der Stagssegel und die Änderung der Beiwerte im häufigsten Reffzustand verfolgen zu können, wurden die Versuche für die Zustände "ohne Stagssegel" und "ohne Royals und Bramstagssegel" - allerdings mit δ_S -Intervallen von 15° - wiederholt.

Die am Modell ohne Segel durchgeführten Messungen sollen zur Abschätzung der Takelagekräfte bei geborgenen Segeln dienen. Hierfür gelten die unter 4.3. gemachten Angaben über Reynoldszahleffekte in besonderem Maße. Fig. 5a bis 5d zeigt während der Modellversuche aufgenommene Fotos, die das Modell mit allen Segeln, ohne Stagssegel und im Reffzustand darstellen.

3.2. Versuchsergebnisse

Folgende tabellarische Übersicht zeigt den Umfang der durchgeführten Versuche und gibt die Tabellen und Bilder an, in denen die Versuchsergebnisse enthalten sind:

Rahstellung $-\delta_S^0$	R_n	Alle Segel (Fig. 6-8) Tab.	ohne Stagesegel (Fig. 9-11) Tab.	Reffzustand (Fig. 12-14) Tab.
30	$0,320 \cdot 10^6$	1	19	25
35	$0,33 \cdot 10^6$	2		
40	"	3		
45	$0,23 \cdot 10^6$	4a		
	$0,32 \cdot 10^6$	4b	20	26
50	$0,32 \cdot 10^6$	5		
55	"	6		
60	"	7	21	27
65	"	8		
70	"	9		
75	"	10	22	28
80	"	11		
85	"	12		
90	"	13	23	29
95	"	14		
100	"	15		
105	"	16		
110	"	17		30
	$0,33 \cdot 10^6$		24	
120	$0,32 \cdot 10^6$	18		

Die Ergebnisse des "ohne Segel" gemessenen Modells mit "vierkant" ($\delta_S = 90^0$) gebrahten Rahen sind in Tab. 31 a und b sowie Fig. 15 enthalten.

Für das voll getakelte Modell zeigt Fig. 6 die Abhängigkeit des Querkraftbeiwertes c_Q vom Raheinstellwinkel δ_S und vom Anströmwinkel ϵ des Modells. Es ist zu erkennen, daß das erreichbare Querkraftmaximum mit wachsendem Raheinstellwinkel (oder Brassungswinkel) ständig abnimmt. Aus Fig. 7 geht die Abhängigkeit des Widerstandsbeiwertes c_D von δ_S und ϵ hervor. Fig. 8 stellt die Abhängigkeit des Momentenbeiwertes c_N von δ_S und ϵ dar. Hier soll nochmals auf die geringere Genauigkeit der Momentenmessung hingewiesen werden, die versuchstechnisch bedingt ist und sich besonders bei der Messung kleiner Drehmomente ungünstig bemerkbar macht. Die relativ glatten

Kurven durch die Momentenmeßpunkte entsprechen denjenigen Momentenbeizahlen, die mit Hilfe der durch Straken geglätteten Druckpunkt-lagen e/L_{OA} errechnet wurden.

Entsprechende Darstellungen der Meßergebnisse für das Modell ohne Stagesegel sind in Fig.9 bis 11 und für das Modell ohne Royals und Bramstagesegel in Fig.12 bis 14 gegeben.

3.3. Bemerkungen über Meßgenauigkeit, Versperrungseinflüsse und Reynoldszahleffekte

3.3.1. Meßgenauigkeit

Die Ablesegenauigkeit der Meßverstärker betrug, sofern nicht durch Ablösungserscheinungen starke Schwankungen auftraten, etwa 0,5 Skalenteile der Skala mit 100 ~~Teilstriichen~~, entsprechend 0,5% des zum jeweiligen Meßbereich gehörigen maximalen Meßwertes.

Die Kräfte auf die Drehscheibe wurden durch Anbringen einer Modellattrappe dicht über der glatten Drehscheibe getrennt ermittelt und bei der Auswertung von den gemessenen Gesamtkräften auf Modell und Drehscheibe abgezogen.

Diese Korrekturwerte betragen für den Widerstand bei einem Vorkammerdruck von $p_V = 20 \text{ kp/m}^2$ ca. 160 bis 320 p und somit 1,7 bis 3,3% des maximalen Meßwertes; der Einfluß auf die Querkraft lag innerhalb der Meßgenauigkeit selbst.

3.3.2. Einfluß der Strahlversperrung

Die Ergebnisse wurden dagegen nicht für den Einfluß der Strahlversperrung auf den Staudruck und die wirksame Schräganströmung korrigiert. Der Versperrungseinfluß auf die Meßwerte wurde durch Messung von Rechteckplatten und Schiffssilhouetten im Rechteckstrahl bei Versperrungen bis zu 40% geprüft (vgl. IfS-Bericht Nr.160 [10]). U.a. wurde auch die Segelrißsilhouette einer Viermastbark bei Versperrungen von 10 bis 40% untersucht.

Die für die hier vorliegenden Meßergebnisse notwendigen Korrekturen ($A/A_S = 0,212$ bis $0,273$) lassen sich danach wie folgt abschätzen:

die maximale Querkraft ist zu erhöhen um 2 bis 4%, Querkraftbeiwerte c_Q und Querkraftanstieg sind zu erhöhen um 3 bis 6%, während die Widerstandsbeiwerte d_D um 3 bis 5% erhöht werden müssen.

Berücksichtigt man noch die unterschiedlichen Widerstandsbeiwerte (für die Perlonschnur erhält man für 18 m/s Windgeschwindigkeit $R_n = 1240$ und $c_D = 1,10$), so würden einem Modellwamt mehr als vier Wanten der Großausführung entsprechen.

Da auch die Schoten, Fallen usw. 1 mm dick ausgeführt wurden, erscheint es auch aerodynamisch vertretbar, das stehende und laufende Gut in der Modellausführung möglichst zu beschränken.

In diesem Zusammenhang ist folgende Vergleichsrechnung interessant:

Widerstand der Wanten:

Nach dem Segelriß ergab sich für eine Viermastbark, daß die Gesamtlänge der Wanten und Pardunen ca. $28 \cdot L_{PP}$ beträgt, während sie bei dem ausgeführten Modell nur $5,5 \cdot L_{PP}$ ausmacht.

	Gesamtlänge der Wanten u. Pardunen (m)	mittl. Dicke (m)	A (m ²)	v (m/s)	c _D	D (kp)
Großausführung	2690	0,025	67,0	6,7 15,5	1,12 1,06	210 1065
Maßstäbl. Modell 1:96	28	$2,5 \cdot 10^{-4}$	0,007	18	1,43	0,202
Maßstäbl. Modell mit "richtigem" c _D	28	"	"	"	1,07	0,151
ausgeführtes Modell	5,5	$1 \cdot 10^{-3}$	0,0055	18	1,10	0,122

Unser Modell hätte demnach einen um ca. 30 p zu kleinen Widerstand der Wanten. Diese Differenz dürfte bei gesetzten Segeln durch teilweise Abdeckung der Wanten noch kleiner sein.

Eine andere Betrachtung zeigt, daß durch die starke Reynoldszahlabhängigkeit von Kreiszyllindern die Masten und Rahen der Großausführung wesentlich kleinere Widerstandsbeiwerte erreichen können als die entsprechenden Teile des Modells.

	Rah- bzw. Mast- durchmesser (m)	∇ (m/s)	R_n	c_D
Modell	0,005	18	6200	1,00
	0,007	18	8700	1,05
Großausführung	0,30	Bft. 5:9,35	$0,195 \cdot 10^6$	1,15
		" 7:15,48	$0,320 \cdot 10^6$	0,90
	0,50	" 5:9,35	$0,324 \cdot 10^6$	0,90
		" 7:15,48	$0,534 \cdot 10^6$	0,31
	0,80	" 5:9,35	$0,516 \cdot 10^6$	0,31
		" 7:15,48	$0,854 \cdot 10^6$	0,31

3.4. Vergleich der Segelpolaren

Zur Beurteilung der Segeleigenschaften und zur Berechnung der Segelgeschwindigkeiten ist die Kenntnis der Segelpolaren erforderlich. Bei dieser Darstellungsweise der Versuchsergebnisse wird die Segelquerkraft über dem zugehörigen Widerstand der Segel für verschiedene Segelanströmwinkel ϵ_S aufgetragen.

Für ein mehrmastiges Schiff wird die Polare durch die Interferenz der betakelten Masten sowie durch den Einfluß des Rumpfes für jeden Einfallswinkel des scheinbaren Windes e anders sein.

Man kann solche Polaren aus den Querkurven $c_C = f(\epsilon_S)$ und $c_D = f(\epsilon_S)$ (für $e = \text{konstant}$) der Abbildungen Fig. 6 und 7, bzw. Fig. 9 und 10 oder Fig. 12 und 13 gewinnen.

Da die Segelpolaren für spätere Berechnungen benötigt werden, wurden sie tabellarisch erfaßt (vgl. Tab. 31 ff.).

Dabei wurden die Originalmeßwerte teilweise durch Straken etwas geglättet. Sie sind in diesem Falle in Klammern gesetzt worden.

Für die Takelagezustände "ohne Stagesegel" und "ohne Royals und Bramstagegel" wurden die Messungen, wie erwähnt, mit 15° -Intervallen von ϵ_S bzw. δ_S ausgeführt. Für die dazwischenliegenden Segelstellungen wurden in die Abbildungen Fig. 9 und 10 sowie Fig. 12 und 13 die angenäherten c_C - und c_D -Kurven (gefunden durch Querstraken der Originalmeßwerte) gestrichelt eingetragen. In den Tabellen 32 und 33 wurden die "nichtoriginalen" Polarenwerte wiederum in Klammern gesetzt.

In allen drei Fällen erhält man Scharen von Segelpolaren, deren Maxima sich mit größer werdendem Einfallswinkel des scheinbaren Windes ϵ nach kleineren Querkraft- und größeren Widerstandsbeiwerten verschieben. Wird ϵ größer als 90° , so verringern sich die Widerstandsbeiwerte ebenfalls durch stärkere Interferenzwirkung und gegenseitige Abdeckung, bis dann für $\epsilon = 180^\circ$ ("vor dem Wind") nur noch Widerstandsbeiwerte von 0,220 bis 0,350 übrig bleiben. Rein anschaulich läßt sich hieraus schon die Bedeutung des Kreuzens vor dem Wind erkennen.

Um den Vergleich der Segelpolaren für die ~~verschiedenen~~ Takelagezustände anschaulich zu machen, wurden für $\epsilon = 60^\circ$ ("am Wind"), $\epsilon = 90^\circ$ ("mit halbem Wind") und $\epsilon = 120^\circ$ ("Backstags") jeweils die den drei Takelagezuständen entsprechenden Polaren in ein Diagramm eingetragen, vgl. Fig. 19a, 20a und 21a. Hierzu ist zu bemerken, daß die Polaren jeweils auf die vorhandenen Projektionsflächen der Segel bezogen sind, die mitgemessenen Teilkkräfte auf den Rumpf und die zylindrischen Takelageteile (Masten, Rahen, Wanten) in den Zuständen "ohne Stagesegel" und "Reffzustand" die Beiwerte der Kräfte also stärker beeinflussen.

Interessant ist besonders ein Vergleich der mit und ohne Stagesegel gemessenen Segelpolaren. Ohne Stagesegel werden wesentlich größere Querkraftbeiwerte bei verminderten Widerstandsbeiwerten erzielt, was für das Segeln vorteilhaft ist.

Ein reeller Vergleich muß allerdings die geringere Segelfläche bei fehlenden Stagesegeln in Rechnung stellen.

Bezieht man alle Beiwerte auf die gleiche Segelfläche (vgl. Fig. 19b, 20b, 21b, gewählt wurde hier die maximale Segelfläche), so erhält man praktisch einen Vergleich der Absolutwerte von Querkraft und Widerstand.

Hierbei zeigt sich, daß nur für $\epsilon = 60^\circ$ ("am Wind") durch das Wegnehmen der Stagesegel die Querkraft kleiner wird. Gleichzeitig erfolgt aber eine sehr starke Widerstandsverminderung, was "am Wind" wünschenswert ist. Bei seitlichem Windeinfall ($\epsilon = 90^\circ$) und raumem Wind ($\epsilon = 120^\circ$) steigt die Segelquerkraft sogar an, wenn die Stagesegel geborgen werden. Gleichzeitig treten Widerstandsvermindernungen bis zu 50% auf.

Um entscheiden zu können, welche der beiden Polaren die größeren Vortriebskräfte ergibt, muß man neben der Kraftkomponente in Schiffslängsrichtung X auch die Kraftkomponente Y senkrecht zur Schiffslängsrichtung betrachten. Dieser Kraftkomponente muß durch Schrägstellen des Rumpfes (Abtrift) eine gleichgroße Rumpfkraft entgegengesetzt werden. Durch die Abtrift erhöht sich jedoch der Widerstand des Rumpfes. Demzufolge ergibt bei gleicher Kraftkomponente X in Schiffslängsrichtung die Polare mit der kleinsten Y-Komponente den größten Vortrieb.

Folgende Tabelle gibt für beide Polaren einen Vergleich der X- und Y-Komponenten der Takelagekraft bei verschiedenen Kursen zum Wind ϵ . Die gewählten Segelstellungen zum Wind ϵ_S erfassen jeweils den Bereich der größten Kraftkomponenten in Schiffslängsrichtung X.

ϵ	Alle Segel			Ohne Stagesegel		
	ϵ_S	c_X	c_Y	ϵ_S	c_X	c_Y
60°	20°	0,380	0,913	20°	0,378	0,674
	25°	0,385	0,985	25°	0,385	0,766
90°	25°	0,609	0,781	25°	0,661	0,541
	30°	0,633	0,849	30°	0,672	0,617
120°	35°	0,708	0,466	30°	0,763	0,196
	40°	0,700	0,500	35°	0,762	0,260

Es zeigt sich, daß nur für $\epsilon = 60^\circ$ die vollständige Takelage die Vortriebsbeiwerte der Takelage ohne Stagesegel erreicht. In jedem Falle hat aber die Takelage ohne Stagesegel bedeutend kleinere c_Y -Beiwerte, was geringere Krängung und Abtrift und somit einen geringeren Rumpfwiderstand zur Folge hat.

Dieses Ergebnis bedeutet, daß auf den meisten Kursen zum Wind die hemmende Wirkung der Stagesegel durch Erhöhung der Interferenzwirkungen und Abdeckung der Rahsegel nicht durch die von den Stagesegeln erzielten Vortriebskräfte ausgeglichen werden kann.

3.5. Folgerungen

Die vorliegenden Ergebnisse sind in erster Linie als Teilbeitrag einer systematischen Untersuchung der Windwirkungen auf Schiffe innerhalb des Forschungsvorhabens "Windkräfte an Schiffen" zu sehen. Auf die Möglichkeit, daß noch in Fahrt befindliche Rahsegler (es handelt sich ausschließlich um Schulschiffe) aus der Analyse der Versuchsergebnisse Nutzen ziehen können, soll hier nur am Rande hingewiesen werden.

Die hier vorliegenden Versuchsergebnisse können mit den in IfS-Bericht Nr.173 [9] gegebenen Untersuchungsergebnissen eines Modells des neu projektierten Seglers nach Prölss verglichen werden. Dieser Vergleich zeigt, daß sich die Vortriebskräfte der Takelage durch moderne Konstruktionen (z.B. nach Prölss) in hohem Maße verbessern lassen. In Vorbereitung befindliche Fahrtgeschwindigkeitsberechnungen für beide Segelschiffstypen unter Benutzung der Windkanalversuchsergebnisse sollen deshalb zeigen, wie sich die Verbesserungen der Takelagekräfte quantitativ auf die Fahrtgeschwindigkeiten auswirken werden.

4. Symbole (vgl. Fig.1)

- F_RResultierende Kraft
- XKraftkomponente in Schiffslängsrichtung der Mastlinien-
ebene, positiv nach vorn
- YKraftkomponente senkrecht zur Schiffslängsachse,
positiv nach Steuerbord
- CKraftkomponente senkrecht zur Anströmrichtung (Querkraft),
positiv in Anströmrichtung nach links
- DKraftkomponente in Anströmrichtung (Widerstand), positiv
in Anströmrichtung
- NMoment um die Hochachse, bezogen auf $L_{OA}/2$, positiv
rechtsdrehend
- c_X, c_Y, c_C, c_D ...dimensionslose Beiwerte der Kräfte, bezogen auf den
Staudruck der Anströmgeschwindigkeit und die Projektions-
fläche der jeweils gesetzten Segel

- c_Ndimensionsloser Beiwert des Moments um die Hochachse, bezogen auf Staudruck der Anströmgeschwindigkeit, Projektionsfläche der jeweils gesetzten Segel und Bezugslänge L_{OA}
- Vrelative Anströmgeschwindigkeit
- ρLuftdichte unter Versuchsbedingungen
- $q = \rho \cdot V^2 / 2$Staudruck der Anströmgeschwindigkeit
- q_VVorkammerdruck des Windkanals
- νkinematische Zähigkeit der Luft unter Versuchsbedingungen
- L_SSehnenlänge der längsten Rah des Einzelmastes
- L_{OA}Länge über alles (~~ohne Bugspriet~~) Vorderkante Balkenstegen)
- $R_n = V \cdot L_S / \nu$Reynoldszahl der Segel
- AProjektionsfläche der jeweils gesetzten Segel
- A_yLateralfäche des Modells ohne Segel
- A_{yR}Lateralfäche des Rumpfes
- A_SStrahlquerschnitt des Windkanals
- HHöhe der stehenden Besegelung
- $\Lambda = H^2 / A$Seitenverhältnis der stehenden Besegelung
- eDruckpunktlage, d.h. Entfernung des Schnittpunktes der Resultierenden mit der Schiffslängsebene von vorn
- e/L_{OA}relative Druckpunktlage
- ϵ_Srelativer Anströmwinkel des Einzelmastes, bezogen auf die Rahen
- ϵrelativer Anströmwinkel des Schiffes, bezogen auf die positive x-Richtung (Richtung der Schiffslängsebene nach vorn)
- δ_SEinstellwinkel der Einzelmasten, Winkel zwischen Rah und Schiffslängsebene (Brassungswinkel)

5. Schrifttum

- [1] B. Wagner: Praktische Durchführung der Berechnung der Fahrtgeschwindigkeit von Segelschiffen.
IfS-Bericht Nr.112, Juni 1962
- [2] H. Croseck: "Beiträge zur Theorie des Segelns".
Verlag von Julius Springer, Berlin 1925
- [3] W. Laas: "Entwicklung und Zukunft der großen Segelschiffe".
Jahrbuch der StG, Bd.8, 1967, S.275
- [4] Johow-Foerster: Hilfsbuch für den Schiffbau
4.Auflage, Verlag von Julius Springer, Bd.II,
Tafel VI und Tafel XXIV, Schiffsliste Nr.158
- [5] B. Wagner: Vorversuche mit betakelten Masten im Windkanal.
IfS-Bericht Nr.107, April 1962
- [6] B. Wagner: Windkanalversuche mit gewölbten Plattensegeln
an einem rahgetakelten elliptischen Mast neuer
freitragender Konstruktion.
IfS-Bericht Nr.122, Juni 1964
- [7] B. Wagner: Windkanalversuche für einen rahgetakelten Mast
mit einer gewölbten Platte bei verschiedenen
Leeseegel-Einstellungen.
IfS-Bericht Nr.123, Juni 1964
- [8] B. Wagner: Windkanalversuche mit gewölbten Plattensegeln,
mit Einzelmasten sowie mit Plattensegeln bei
Mehrmastanordnung.
IfS-Bericht Nr.171, Oktober 1966
- [9] B. Wagner: Windkanalversuche für einen sechsmastigen
Segler nach Prölss.
IfS-Bericht Nr.173 (in Vorbereitung)
- [10] B. Wagner: Windkanalversuche mit Schiffssilhouetten und
Rechteckplatten zur Prüfung des Versperrungs-
einflusses in einem Rechteckstrahl.
IfS-Bericht Nr.160 (in Vorbereitung)

Segelpolaren für Viermastbark
ohne Stagesegel

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ε_s	g) $\varepsilon=80^\circ$		h) $\varepsilon=90^\circ$		i) $\varepsilon=100^\circ$	
	c_G	c_D	c_G	c_G	c_G	c_D
0	(0,265)	(0,340)	0,232	0,361	(0,205)	(0,380)
5	0,401	0,389	(0,368)	(0,400)	(0,330)	(0,405)
10	(0,560)	(0,450)	(0,500)	(0,460)	0,451	0,441
15	(0,715)	(0,525)	0,642	0,539	(0,590)	(0,520)
20	0,872	0,618	(0,785)	(0,620)	(0,715)	(0,610)
25	(0,940)	(0,710)	(0,880)	(0,720)	0,809	0,717
30	(0,960)	(0,810)	0,895	0,821	(0,840)	(0,805)
35	0,950	0,908	(0,880)	(0,905)	(0,830)	(0,890)
40	(0,900)	(0,990)	(0,840)	(0,990)	0,770	0,973
45	(0,840)	(1,075)	0,779	1,059	(0,730)	(1,050)
50	0,779	1,161	(0,720)	(1,140)	(0,670)	(1,120)
55	-	-	-	-	0,614	(1,185)
60	-	-	0,599	1,272	(0,535)	(1,245)
70	-	-	-	-	0,376	1,342

ε_s	j) $\varepsilon=120^\circ$		k) $\varepsilon=150^\circ$		l) $\varepsilon=180^\circ$	
	c_G	c_D	c_G	c_D	c_G	c_D
10	0,386	0,453	-	-	-	-
15	(0,525)	(0,500)	-	-	-	-
20	(0,650)	(0,565)	-	-	-	-
25	(0,730)	(0,650)	-	-	-	-
30	0,748	0,734	-	-	-	-
35	(0,705)	(0,810)	-	-	-	-
40	(0,660)	(0,880)	0,450	0,668	-	-
45	0,599	0,950	(0,425)	(0,715)	-	-
50	(0,540)	(1,015)	(0,390)	(0,750)	-	-
60	0,412	1,130	0,300	0,804	-	-
70	(0,260)	(1,225)	(0,150)	(0,820)	0,040	0,323
75	0,186	1,250	0,079	0,820	-	-
80	(0,100)	(1,270)	(0,000)	(0,815)	(0,000)	(0,340)
90	-0,066	1,280	-0,099	(0,000)	-0,029	0,354

Tab.34a bis 34f (vergl.Fig.18)

Segelpolaren für Viermastbark

Reffzustand

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ϵ_s	a) $\epsilon=45^\circ$		b) $\epsilon=50^\circ$		c) $\epsilon=55^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D	c_C	c_D
0	0,375	0,293	(0,400)	(0,330)	(0,405)	(0,375)
5	(0,500)	(0,320)	0,525	(0,360)	(0,540)	(0,410)
10	(0,620)	(0,370)	(0,630)	(0,400)	0,628	0,442
15	0,712	0,411	(0,730)	(0,456)	(0,720)	(0,495)
20	-	-	0,821	0,533	(0,810)	(0,565)
25	-	-	-	-	(0,875)	(0,640)

ϵ_s	d) $\epsilon=60^\circ$		e) $\epsilon=65^\circ$		f) $\epsilon=70^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D	c_C	c_D
0	0,396	0,414	(0,360)	(0,430)	(0,315)	(0,450)
5	(0,525)	(0,445)	0,516	0,468	(0,450)	(0,495)
10	(0,630)	(0,490)	(0,620)	(0,515)	0,587	(0,545)
15	0,712	0,540	(0,695)	(0,575)	(0,680)	(0,595)
20	(0,785)	(0,600)	(0,765)	0,628	(0,740)	(0,660)
25	(0,845)	(0,670)	(0,820)	(0,700)	(0,790)	0,726
30	(0,880)	0,740	(0,855)	(0,770)	(0,830)	(0,795)
35	-	-	0,862	0,844	(0,830)	(0,855)
40	-	-	-	-	0,794	(0,920)

Segelpolaren für Viermastbark
Reffzustand

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ϵ_s	g) $\epsilon = 80^\circ$		h) $\epsilon = 90^\circ$		i) $\epsilon = 100^\circ$	
	c_G	c_D	c_G	c_D	c_G	c_D^c
0	(0,225)	(0,480)	0,186	0,519	(0,120)	(0,520)
5	0,322	0,502	(0,280)	(0,545)	(0,220)	(0,550)
10	(0,475)	(0,560)	(0,395)	(0,585)	(0,320)	0,586
15	(0,590)	(0,625)	(0,500)	0,641	(0,420)	(0,635)
20	0,665	0,686	(0,590)	(0,705)	(0,505)	(0,700)
25	(0,710)	(0,755)	(0,650)	(0,770)	0,573	(0,770)
30	(0,750)	(0,830)	0,672	0,831	(0,600)	(0,825)
35	0,754	(0,895)	(0,685)	(0,895)	(0,600)	(0,880)
40	(0,750)	(0,955)	(0,670)	(0,960)	0,587	0,927
45	(0,720)	(1,010)	0,641	(1,020)	(0,565)	(0,980)
50	0,659	1,051	(0,590)	(1,060)	(0,530)	(1,030)
55	-	-	-	-	0,484	1,078
60	0,484	1,440	0,484	1,140	(0,430)	(1,110)
70	-	-	-	-	0,294	1,161

ϵ_s	j) $\epsilon = 120^\circ$		k) $\epsilon = 150^\circ$		l) $\epsilon = 180^\circ$	
	c_G	c_D	c_G	c_D	c_G	c_D
0	-	-	-	-	-	-
5	-	-	-	-	-	-
10	0,207	0,535	-	-	-	-
15	(0,320)	(0,575)	-	-	-	-
20	(0,400)	(0,620)	-	-	-	-
25	(0,445)	(0,680)	-	-	-	-
30	0,468	0,739	-	-	-	-
35	(0,475)	(0,785)	-	-	-	-
40	(0,460)	(0,835)	0,347	0,573	-	-
45	0,420	0,875	(0,320)	(0,595)	-	-
50	(0,385)	(0,915)	(0,290)	(0,620)	-	-
60	0,297	0,986	0,210	0,692	-	-
70	(0,185)	(1,045)	(0,100)	(0,680)	0,095	0,262
75	0,126	1,065	0,046	0,661	-	-

Fig. 5a und b

Takelagemodell, alle Segel,
 $\delta_S = 30^\circ$

Fig. 5c

Takelagemodell,
ohne Stagsegel, $\delta_S = 45^\circ$

Fig. 5d

Takelagemodell,
ohne Royals und Bramstagssegel,
 $\delta_S = 30^\circ$

Tab.32a bis 32f (vergl.Fig.16)

Segelpolaren für Viermastbark
alle Segel

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ε_s	a) $\varepsilon=45^\circ$		b) $\varepsilon=50^\circ$		c) $\varepsilon=55^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D	c_C	c_D
0	0,383	0,313	0,403	0,352	0,424	0,402
5	0,512	0,330	0,518	0,378	(0,520)	0,416
10	(0,600)	0,367	0,627	0,419	(0,630)	0,467
15	0,656	0,384	0,700	0,459	(0,715)	0,514
20	=	-	0,750	0,488	0,779	0,561
25	-	-	-	-	0,814	0,596

ε_s	d) $\varepsilon=60^\circ$		e) $\varepsilon=65^\circ$		f) $\varepsilon=70^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D	c_C	c_D
0	0,436	0,436	0,408	0,465	0,377	0,483
5	(0,540)	(0,470)	0,537	0,504	(0,500)	0,526
10	(0,630)	0,500	0,633	(0,540)	(0,610)	0,578
15	(0,710)	(0,550)	0,703	0,580	0,685	0,636
20	0,785	(0,600)	(0,760)	(0,635)	0,744	(0,680)
25	0,826	0,660	0,814	0,697	(0,780)	0,730
30	0,832	0,697	0,826	0,763	0,814	0,804
35	-	-	0,803	0,787	0,791	0,844
40	-	-	-	-	0,755	0,865

Segelpolaren für Viermastbark
alle Segel

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ε_S	g) $\varepsilon = 80^\circ$		h) $\varepsilon = 90^\circ$		i) $\varepsilon = 100^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D	c_C	c_D
0	0,255	0,521	0,159	0,540	0,109	0,581
5	0,418	0,559	0,283	0,575	0,187	0,602
10	(0,520)	0,602	(0,375)	(0,610)	0,292	(0,620)
15	(0,610)	0,670	0,490	0,668	(0,390)	(0,660)
20	0,668	0,721	0,563	(0,720)	0,471	(0,710)
25	0,697	(0,775)	0,609	0,781	(0,515)	(0,760)
30	0,715	(0,830)	0,633	(0,835)	0,557	0,824
35	0,691	0,884	0,621	0,891	0,557	0,880
40	0,668	0,921	0,603	0,928	(0,530)	0,922
45	0,633	0,949	(0,570)	0,973	0,490	(0,960)
50	0,592	0,953	(0,535)	1,019	0,455	(0,990)
60	-	-	0,450	1,038	0,372	1,045
70	-	-	-	-	0,272	1,062

ε_S	j) $\varepsilon = 110^\circ$		k) $\varepsilon = 120^\circ$		l) $\varepsilon = 140^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D	c_C	c_D
0	0,037	0,607	-0,028	0,584	-	-
5	0,128	0,598	-	-	-	-
10	0,231	0,610	(0,175)	0,593	-	-
15	0,316	0,644	0,244	0,602	-	-
20	(0,395)	0,674	0,311	0,625	0,264	0,515
25	0,439	(0,720)	0,348	0,673	-	-
30	0,447	0,770	(0,390)	(0,715)	(0,305)	0,575
35	0,444	(0,820)	0,380	0,758	0,292	0,586
40	(0,440)	(0,870)	(0,370)	(0,789)	0,278	0,609
45	0,420	0,916	0,334	(0,830)	(0,250)	0,634
50	0,380	0,958	(0,310)	0,866	0,227	(0,670)
60	0,302	(1,020)	0,236	0,949	(0,160)	0,737
70	0,213	1,067	0,150	0,981	0,092	0,793
80	0,106	1,067	0,044	1,013	-0,022	0,801
90	-	-	-0,060	1,001	-	-

Segelpolaren für Viermastbark
alle Segel

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ϵ_s	m) $\epsilon=160^\circ$		n) $\epsilon=180^\circ$	
	c_C	c_D	c_C	c_D
40	0,231	0,407	-	-
45	-	-	-	-
50	(0,175)	(0,435)	-	-
55	0,149	(0,450)	-	-
60	(0,120)	0,463	0,064	0,225
65	0,090	0,466	-	-
70	(0,060)	(0,465)	0,035	0,236
75	-	-	0,023	0,240
80	0,008	0,459	0,008	(0,248)
85	-	-	-0,009	0,249
90	-0,07	0,448	-0,026	0,249

Tab.33a bis 33f (vergl.Fig.17)

Segelpolaren für Viermastbark
ohne Stagesegel

(Strakwerte in Klammern gesetzt)

ϵ_s	a) $\epsilon = 45^\circ$		b) $\epsilon = 50^\circ$		c) $\epsilon = 55^\circ$	
	c_G	c_D	c_G	c_D	c_G	c_D
0	0,291	0,219	(0,310)	(0,240)	(0,315)	(0,265)
5	(0,440)	(0,250)	0,444	0,269	(0,470)	(0,295)
10	(0,600)	(0,610)	(0,610)	(0,320)	0,626	0,342
20	-	-	0,857	0,472	(0,880)	(0,500)
25	-	-	-	-	0,957	0,608

ϵ_s	d) $\epsilon = 60^\circ$		e) $\epsilon = 65^\circ$		f) $\epsilon = 70^\circ$	
	c_G	c_D	c_G	c_D	c_G	c_D
0	0,314	0,292	(0,305)	(0,300)	(0,300)	(0,320)
5	(0,470)	(0,325)	0,463	0,344	(0,450)	(0,360)
10	(0,630)	(0,375)	(0,610)	(0,400)	0,613	0,418
15	0,770	0,441	(0,775)	(0,470)	(0,760)	(0,495)
20	(0,885)	(0,525)	0,887	0,555	(0,885)	(0,585)
25	(0,955)	(0,625)	(0,960)	(0,645)	0,965	0,684
30	0,965	0,725	(0,985)	(0,745)	(0,985)	(0,780)
35	-	-	0,981	0,864	(0,985)	(0,880)
40	-	-	-	-	0,926	0,979

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.1 $-\delta_S = 30^\circ$; $R_n = 0,322 \cdot 10^6$

δ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.256	0.182	+0.0239	-0.030	0.312	0.423	30.0
5.0	0.414	0.226	+0.0451	0.052	0.469	0.404	35.0
10.0	0.544	0.295	+0.0642	0.124	0.607	0.394	40.0
15.0	0.656	0.384	+0.0802	0.192	0.736	0.391	45.0
20.0	0.750	0.488	+0.0941	0.260	0.856	0.390	50.0
25.0	0.814	0.596	+0.0993	0.325	0.956	0.396	55.0
30.0	0.832	0.697	+0.0962	0.371	1.020	0.406	60.0
35.0	0.803	0.787	+0.0930	0.395	1.052	0.412	65.0
40.0	0.755	0.865	+0.0850	0.414	1.071	0.421	70.0
45.0	0.662	0.907	+0.0802	0.405	1.047	0.423	75.0
50.0	0.592	0.953	+0.0696	0.417	1.041	0.433	80.0
60.0	0.450	1.038	+0.0581	0.450	1.038	0.444	90.0
70.0	0.272	1.062	+0.0417	0.452	0.999	0.458	100.0
80.0	0.106	1.067	+0.0276	0.464	0.966	0.471	110.0
90.0	-0.060	1.001	+0.0232	0.449	0.897	0.474	120.0

Tab.2 $-\delta_S = 35^\circ$; $R_n = 0,325 \cdot 10^6$

0.0	0.310	0.228	+0.0302	-0.009	0.385	0.422	35.0
5.0	0.465	0.282	+0.0495	0.082	0.537	0.408	40.0
10.0	0.592	0.367	+0.0675	0.159	0.678	0.400	45.0
15.0	0.700	0.459	+0.0824	0.241	0.802	0.397	50.0
20.0	0.779	0.561	+0.0907	0.316	0.907	0.400	55.0
25.0	0.826	0.660	+0.0931	0.385	0.985	0.405	60.0
30.0	0.826	0.763	+0.0900	0.426	1.041	0.414	65.0
35.0	0.791	0.844	+0.0864	0.454	1.064	0.419	70.0
40.0	0.703	0.891	+0.0781	0.448	1.043	0.425	75.0
45.0	0.633	0.949	+0.0672	0.458	1.045	0.436	80.0
55.0	0.490	1.030	+0.0556	0.490	1.030	0.446	90.0
65.0	0.316	1.061	+0.0425	0.495	0.990	0.457	100.0
75.0	0.150	1.069	+0.0292	0.506	0.953	0.469	110.0
85.0	-0.017	1.008	+0.0157	0.489	0.881	0.482	120.0
90.0	-0.093	0.966	+0.0174	0.478	0.844	0.479	125.0

Tab.3 $-\delta_S = 40^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.359	0.266	+0.0364	0.027	0.446	0.418	40.0
5.0	0.512	0.330	+0.0534	0.129	0.595	0.410	45.0
10.0	0.627	0.419	+0.0715	0.211	0.724	0.401	50.0
15.0	0.726	0.514	+0.0801	0.300	0.838	0.404	55.0
20.0	0.785	0.600	+0.0855	0.380	0.913	0.406	60.0
25.0	0.814	0.697	+0.0875	0.443	0.976	0.410	65.0
30.0	0.814	0.804	+0.0837	0.490	1.034	0.419	70.0
35.0	0.762	0.871	+0.0760	0.510	1.039	0.427	75.0
40.0	0.668	0.921	+0.0744	0.497	1.023	0.427	80.0
45.0	0.609	0.970	+0.0610	0.522	1.019	0.440	85.0
50.0	0.548	1.019	+0.0555	0.548	1.019	0.445	90.0
60.0	0.372	1.045	+0.0451	0.548	0.965	0.453	100.0
70.0	0.213	1.067	+0.0308	0.565	0.929	0.467	110.0
80.0	0.044	1.013	+0.0197	0.545	0.856	0.477	120.0
90.0	-0.102	0.907	+0.0141	0.505	0.760	0.481	130.0

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$; $-\delta_S = 45^\circ$ Tab.4a $R_n = 0,228 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.391	0.313	+0.0411	0.055	0.498	0.417	45.0
5.0	0.508	0.382	+0.0590	0.144	0.619	0.405	50.0
10.0	0.608	0.465	+0.0691	0.232	0.729	0.405	55.0
15.0	0.695	0.543	+0.0729	0.331	0.817	0.411	60.0
20.0	0.738	0.639	+0.0737	0.398	0.891	0.417	65.0
25.0	0.742	0.716	+0.0688	0.453	0.926	0.426	70.0
30.0	0.725	0.790	+0.0655	0.496	0.951	0.431	75.0
35.0	0.672	0.864	+0.0582	0.512	0.967	0.440	80.0
40.0	0.608	0.923	+0.0650	0.525	0.973	0.433	85.0
45.0	0.553	0.953	+0.0574	0.553	0.953	0.440	90.0
50.0	0.479	0.998	+0.0444	0.565	0.952	0.453	95.0
55.0	0.415	1.027	+0.0344	0.587	0.939	0.463	100.0
65.0	0.252	1.052	+0.0267	0.597	0.902	0.470	110.0
75.0	0.094	1.014	+0.0067	0.588	0.831	0.492	120.0
85.0	-0.050	0.924	+0.0154	0.556	0.741	0.479	130.0
90.0	-0.115	0.860	+0.0181	0.527	0.689	0.474	135.0

Tab.4b $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.383	0.313	+0.0427	0.049	0.492	0.413	45.0
5.0	0.518	0.378	+0.0554	0.154	0.622	0.411	50.0
10.0	0.621	0.467	+0.0644	0.241	0.738	0.413	55.0
15.0	0.703	0.559	+0.0667	0.330	0.835	0.420	60.0
20.0	0.750	0.643	+0.0749	0.408	0.899	0.417	65.0
25.0	0.762	0.730	+0.0693	0.466	0.947	0.427	70.0
30.0	0.744	0.807	+0.0680	0.509	0.973	0.430	75.0
35.0	0.691	0.884	+0.0690	0.527	0.990	0.430	80.0
40.0	0.627	0.927	+0.0591	0.544	0.978	0.440	85.0
45.0	0.562	0.973	+0.0512	0.562	0.973	0.447	90.0
55.0	0.409	1.022	+0.0422	0.581	0.935	0.455	100.0
65.0	0.251	1.038	+0.0282	0.591	0.890	0.468	110.0
75.0	0.096	0.994	+0.0184	0.580	0.813	0.477	120.0
85.0	-0.050	0.917	+0.0095	0.551	0.735	0.487	130.0
90.0	-0.115	0.851	+0.0148	0.521	0.683	0.478	135.0

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.5 $-\delta_S = 50^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.403	0.352	+0.0485	0.082	0.529	0.408	50.0
5.0	0.536	0.416	+0.0553	0.200	0.648	0.415	55.0
10.0	0.621	0.500	+0.0658	0.288	0.743	0.411	60.0
15.0	0.703	0.580	+0.0756	0.392	0.823	0.408	65.0
20.0	0.744	0.670	+0.0688	0.470	0.884	0.422	70.0
25.0	0.744	0.755	+0.0648	0.523	0.922	0.430	75.0
30.0	0.715	0.816	+0.0606	0.562	0.928	0.435	80.0
35.0	0.656	0.887	+0.0592	0.576	0.940	0.437	85.0
40.0	0.603	0.928	+0.0548	0.603	0.928	0.441	90.0
45.0	0.536	0.962	+0.0508	0.617	0.911	0.444	95.0
50.0	0.455	0.985	+0.0388	0.620	0.891	0.457	100.0
60.0	0.302	1.012	+0.0252	0.630	0.848	0.470	110.0
70.0	0.150	0.981	+0.0155	0.620	0.775	0.480	120.0
80.0	0.008	0.920	+0.0103	0.598	0.700	0.485	130.0
90.0	-0.116	0.785	+0.0049	0.527	0.593	0.492	140.0

Tab.6 $-\delta_S = 55^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.424	0.402	+0.0462	0.117	0.572	0.419	55.0
5.0	0.553	0.467	+0.0498	0.246	0.682	0.427	60.0
10.0	0.633	0.553	+0.0561	0.339	0.769	0.427	65.0
15.0	0.685	0.636	+0.0591	0.426	0.832	0.429	70.0
20.0	0.715	0.720	+0.0574	0.504	0.880	0.435	75.0
25.0	0.697	0.782	+0.0528	0.550	0.891	0.441	80.0
30.0	0.673	0.851	+0.0534	0.597	0.907	0.441	85.0
35.0	0.621	0.891	+0.0482	0.621	0.891	0.446	90.0
40.0	0.555	0.948	+0.0499	0.636	0.896	0.444	95.0
45.0	0.490	0.970	+0.0418	0.651	0.871	0.452	100.0
55.0	0.348	0.992	+0.0231	0.666	0.813	0.472	110.0
65.0	0.197	0.969	+0.0087	0.655	0.741	0.488	120.0
75.0	0.054	0.913	+0.0067	0.628	0.665	0.490	130.0
85.0	-0.072	0.795	+0.0042	0.562	0.566	0.493	140.0
90.0	-0.116	0.696	-0.0026	0.503	0.494	0.505	145.0

Tab.7 $-\delta_S = 60^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.436	0.436	+0.0472	0.159	0.596	0.421	60.0
5.0	0.537	0.504	+0.0517	0.273	0.684	0.424	65.0
10.0	0.621	0.578	+0.0567	0.386	0.756	0.425	70.0
15.0	0.668	0.659	+0.0593	0.474	0.809	0.427	75.0
20.0	0.668	0.721	+0.0488	0.532	0.826	0.441	80.0
25.0	0.656	0.789	+0.0497	0.585	0.843	0.441	85.0
30.0	0.633	0.849	+0.0518	0.633	0.849	0.439	90.0
35.0	0.586	0.893	+0.0423	0.662	0.838	0.450	95.0
40.0	0.521	0.922	+0.0426	0.673	0.817	0.448	100.0
45.0	0.447	0.947	+0.0333	0.677	0.799	0.458	105.0
50.0	0.380	0.958	+0.0248	0.685	0.771	0.468	110.0
60.0	0.236	0.949	+0.0101	0.679	0.703	0.486	120.0
70.0	0.112	0.915	+0.0036	0.674	0.629	0.494	130.0
80.0	-0.022	0.801	-0.0001	0.600	0.532	0.500	140.0
90.0	-0.108	0.617	+0.0067	0.480	0.402	0.517	150.0

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.8 $-\delta_S = 65^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.408	0.465	+0.0475	0.174	0.594	0.420	65.0
5.0	0.489	0.526	+0.0448	0.279	0.661	0.432	70.0
10.0	0.560	0.600	+0.0525	0.385	0.725	0.428	75.0
15.0	0.592	0.670	+0.0535	0.467	0.762	0.430	80.0
20.0	0.609	0.723	+0.0457	0.544	0.774	0.441	85.0
25.0	0.609	0.781	+0.0438	0.609	0.781	0.444	90.0
30.0	0.598	0.842	+0.0443	0.669	0.787	0.444	95.0
35.0	0.557	0.880	+0.0379	0.702	0.770	0.451	100.0
40.0	0.489	0.911	+0.0370	0.708	0.754	0.451	105.0
45.0	0.420	0.916	+0.0252	0.708	0.717	0.465	110.0
55.0	0.286	0.903	+0.0102	0.699	0.639	0.484	120.0
65.0	0.163	0.877	+0.0017	0.689	0.568	0.497	130.0
75.0	0.036	0.795	-0.0025	0.632	0.484	0.505	140.0
85.0	-0.058	0.625	-0.0086	0.512	0.363	0.524	150.0
90.0	-0.088	0.526	-0.0126	0.439	0.302	0.542	155.0

Tab.9 $-\delta_S = 70^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.377	0.483	+0.0398	0.189	0.583	0.432	70.0
5.0	0.453	0.539	+0.0343	0.298	0.638	0.446	75.0
10.0	0.533	0.602	+0.0360	0.421	0.685	0.447	80.0
15.0	0.556	0.664	+0.0353	0.496	0.710	0.450	85.0
20.0	0.563	0.707	+0.0377	0.563	0.707	0.447	90.0
25.0	0.575	0.778	+0.0359	0.640	0.725	0.451	95.0
30.0	0.557	0.824	+0.0331	0.692	0.715	0.454	100.0
35.0	0.506	0.855	+0.0275	0.710	0.695	0.460	105.0
40.0	0.445	0.877	+0.0276	0.718	0.672	0.459	110.0
45.0	0.385	0.873	+0.0174	0.718	0.628	0.472	115.0
50.0	0.324	0.866	+0.0126	0.714	0.588	0.479	120.0
60.0	0.216	0.839	-0.0014	0.704	0.504	0.503	130.0
70.0	0.092	0.793	-0.0057	0.667	0.439	0.513	140.0
80.0	-0.015	0.630	-0.0094	0.538	0.328	0.529	150.0
90.0	-0.070	0.448	-0.0125	0.397	0.219	0.557	160.0

Tab.10 $-\delta_S = 75^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.367	0.517	+0.0377	0.221	0.594	0.467	75.0
5.0	0.418	0.559	+0.0325	0.314	0.623	0.448	80.0
10.0	0.460	0.610	+0.0321	0.405	0.647	0.450	85.0
15.0	0.490	0.668	+0.0346	0.490	0.668	0.448	90.0
20.0	0.510	0.707	+0.0345	0.570	0.660	0.448	95.0
25.0	0.512	0.755	+0.0321	0.635	0.654	0.451	100.0
30.0	0.500	0.802	+0.0321	0.691	0.646	0.450	105.0
35.0	0.444	0.810	+0.0259	0.694	0.610	0.457	110.0
40.0	0.395	0.826	+0.0194	0.707	0.582	0.467	115.0
45.0	0.334	0.814	+0.0102	0.696	0.538	0.481	120.0
55.0	0.225	0.800	+0.0007	0.686	0.468	0.499	130.0
65.0	0.111	0.748	-0.0045	0.645	0.396	0.511	140.0
75.0	0.017	0.625	-0.0055	0.549	0.297	0.518	150.0
85.0	-0.046	0.457	-0.0108	0.414	0.199	0.554	160.0
90.0	-0.058	0.383	-0.0098	0.354	0.156	0.563	165.0

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.11 $-\delta_S = 80^\circ$; $R_n = 0,322 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.291	0.538	+0.0264	0.193	0.580	0.454	80.0
5.0	0.371	0.571	+0.0243	0.320	0.601	0.460	85.0
10.0	0.406	0.618	+0.0235	0.406	0.618	0.462	90.0
15.0	0.442	0.664	+0.0235	0.498	0.623	0.462	95.0
20.0	0.471	0.713	+0.0243	0.587	0.620	0.461	100.0
25.0	0.462	0.741	+0.0257	0.638	0.596	0.457	105.0
30.0	0.447	0.770	+0.0209	0.684	0.571	0.463	110.0
35.0	0.415	0.787	+0.0175	0.709	0.538	0.468	115.0
40.0	0.357	0.783	+0.0076	0.700	0.500	0.485	120.0
45.0	0.295	0.769	+0.0036	0.683	0.461	0.492	125.0
50.0	0.242	0.762	-0.0016	0.675	0.428	0.504	130.0
60.0	0.145	0.728	-0.0062	0.650	0.357	0.517	140.0
70.0	0.049	0.613	-0.0103	0.556	0.264	0.539	150.0
80.0	-0.024	0.458	-0.0116	0.422	0.179	0.565	160.0
90.0	-0.050	0.295	-0.0169	0.282	0.101	0.667	170.0

Tab.12 $-\delta_S = 85^\circ$; $R_n = 0,322 \cdot 10^6$

0.0	0.231	0.551	+0.0273	0.182	0.569	0.452	85.0
5.0	0.283	0.575	+0.0236	0.283	0.575	0.459	90.0
10.0	0.365	0.634	+0.0264	0.419	0.600	0.456	95.0
15.0	0.404	0.671	+0.0236	0.514	0.591	0.460	100.0
20.0	0.422	0.697	+0.0246	0.588	0.565	0.456	105.0
25.0	0.439	0.734	+0.0194	0.664	0.540	0.464	110.0
30.0	0.418	0.756	+0.0180	0.698	0.509	0.465	115.0
35.0	0.380	0.758	+0.0129	0.708	0.466	0.472	120.0
40.0	0.334	0.754	+0.0034	0.706	0.426	0.492	125.0
45.0	0.283	0.734	-0.0022	0.689	0.380	0.506	130.0
55.0	0.199	0.703	-0.0041	0.666	0.299	0.514	140.0
65.0	0.099	0.612	-0.0111	0.580	0.220	0.550	150.0
75.0	0.016	0.467	-0.0099	0.445	0.145	0.569	160.0
85.0	-0.028	0.304	-0.0109	0.295	0.080	0.636	170.0
90.0	-0.038	0.264	-0.0124	0.260	0.061	0.704	175.0

Tab.13 $-\delta_S = 90^\circ$; $R_n = 0,321 \cdot 10^6$

0.0	0.159	0.540	+0.0202	0.159	0.540	0.463	90.0
5.0	0.225	0.551	+0.0183	0.272	0.529	0.465	95.0
10.0	0.292	0.599	+0.0183	0.392	0.539	0.466	100.0
15.0	0.362	0.629	+0.0189	0.513	0.514	0.463	105.0
20.0	0.407	0.674	+0.0240	0.613	0.494	0.451	110.0
25.0	0.422	0.700	+0.0152	0.678	0.456	0.467	115.0
30.0	0.405	0.719	+0.0126	0.710	0.420	0.470	120.0
35.0	0.373	0.715	+0.0063	0.716	0.372	0.483	125.0
40.0	0.330	0.701	-0.0013	0.704	0.325	0.504	130.0
45.0	0.290	0.696	-0.0053	0.697	0.287	0.518	135.0
50.0	0.256	0.688	-0.0066	0.692	0.246	0.527	140.0
60.0	0.169	0.599	-0.0069	0.603	0.153	0.545	150.0
70.0	0.076	0.458	-0.0069	0.456	0.086	0.580	160.0
80.0	0.015	0.303	-0.0085	0.301	0.038	0.725	170.0
90.0	-0.021	0.263	-0.0096	0.263	0.021	0.967	180.0

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1.0980 \text{ m}$ Tab.14 $-\delta_S = 95^\circ$; $R_n = 0,321 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.143	0.585	+0.0190	0.194	0.570	0.467	95.0
5.0	0.187	0.602	+0.0175	0.289	0.561	0.469	100.0
10.0	0.248	0.624	+0.0193	0.401	0.539	0.464	105.0
15.0	0.316	0.644	+0.0135	0.517	0.497	0.473	110.0
20.0	0.334	0.660	+0.0113	0.581	0.457	0.475	115.0
25.0	0.348	0.673	+0.0075	0.637	0.409	0.482	120.0
30.0	0.342	0.672	+0.0075	0.665	0.354	0.479	125.0
35.0	0.315	0.667	-0.0012	0.670	0.309	0.504	130.0
40.0	0.280	0.653	-0.0068	0.660	0.264	0.526	135.0
45.0	0.243	0.634	-0.0097	0.642	0.221	0.544	140.0
55.0	0.170	0.564	-0.0032	0.574	0.135	0.524	150.0
65.0	0.090	0.466	-0.0076	0.469	0.075	0.601	160.0
75.0	0.022	0.313	-0.0045	0.312	0.032	0.639	170.0
85.0	-0.009	0.249	-0.0070	0.249	0.009	1.262	180.0

Tab.15 $-\delta_S = 100^\circ$; $R_n = 0,321 \cdot 10^6$

0.0	0.109	0.581	+0.0162	0.208	0.553	0.471	100.0
5.0	0.161	0.582	+0.0130	0.306	0.521	0.475	105.0
10.0	0.231	0.610	+0.0109	0.425	0.494	0.478	110.0
15.0	0.283	0.619	+0.0118	0.518	0.441	0.473	115.0
20.0	0.311	0.625	+0.0098	0.582	0.386	0.474	120.0
25.0	0.333	0.646	+0.0096	0.643	0.339	0.472	125.0
30.0	0.334	0.649	+0.0010	0.673	0.282	0.496	130.0
35.0	0.309	0.623	-0.0083	0.659	0.222	0.537	135.0
40.0	0.283	0.609	-0.0092	0.649	0.174	0.553	140.0
45.0	0.258	0.590	-0.0089	0.631	0.128	0.570	145.0
50.0	0.220	0.554	-0.0057	0.590	0.086	0.566	150.0
60.0	0.140	0.445	-0.0121	0.466	0.021	1.083	160.0
70.0	0.054	0.303	-0.0070	0.308	-0.000	-13.622	170.0
80.0	0.013	0.258	-0.0006	0.258	-0.013	0.449	180.0

Tab.16 $-\delta_S = 105^\circ$; $R_n = 0,322 \cdot 10^6$

0.0	0.065	0.582	+0.0166	0.214	0.545	0.470	105.0
5.0	0.128	0.598	+0.0159	0.325	0.518	0.469	110.0
10.0	0.171	0.593	+0.0112	0.405	0.465	0.476	115.0
15.0	0.244	0.602	+0.0065	0.513	0.399	0.484	120.0
20.0	0.287	0.599	+0.0045	0.579	0.326	0.486	125.0
25.0	0.318	0.606	-0.0001	0.633	0.260	0.501	130.0
30.0	0.324	0.605	-0.0049	0.657	0.199	0.525	135.0
35.0	0.292	0.586	-0.0094	0.637	0.153	0.561	140.0
40.0	0.260	0.559	-0.0076	0.607	0.108	0.570	145.0
45.0	0.219	0.516	-0.0115	0.557	0.068	0.668	150.0
55.0	0.149	0.438	-0.0106	0.463	0.010	1.526	160.0
65.0	0.061	0.312	-0.0053	0.318	-0.006	-0.435	170.0
75.0	0.023	0.240	-0.0020	0.240	-0.023	0.414	180.0

Takelagemodell ViermastbarkAlle Segel $A = 0,4316 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.17 $-\delta_S = 110^\circ$; $R_n = 0,320 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.037	0.607	+0.0168	0.243	0.557	0.470	110.0
5.0	0.100	0.602	+0.0159	0.345	0.503	0.468	115.0
10.0	0.201	0.593	+0.0112	0.471	0.413	0.473	120.0
15.0	0.252	0.591	+0.0092	0.545	0.340	0.473	125.0
20.0	0.302	0.598	+0.0037	0.616	0.264	0.486	130.0
25.0	0.326	0.586	-0.0015	0.645	0.184	0.508	135.0
30.0	0.318	0.575	-0.0071	0.645	0.126	0.556	140.0
35.0	0.303	0.547	-0.0093	0.621	0.065	0.642	145.0
40.0	0.258	0.514	-0.0107	0.574	0.034	0.816	150.0
45.0	0.223	0.478	-0.0134	0.528	0.000	27.704	155.0
50.0	0.181	0.432	-0.0083	0.468	-0.022	0.131	160.0
60.0	0.089	0.315	-0.0045	0.326	-0.033	0.363	170.0
70.0	0.035	0.236	+0.0004	0.236	-0.035	0.510	180.0

Tab.18 $-\delta_S = 120^\circ$; $R_n = 0,320 \cdot 10^6$

0.0	-0.028	0.584	+0.0044	0.268	0.520	0.492	120.0
5.0	0.068	0.556	+0.0010	0.374	0.416	0.498	125.0
10.0	0.136	0.541	+0.0017	0.452	0.327	0.495	130.0
15.0	0.208	0.525	-0.0020	0.518	0.225	0.509	135.0
20.0	0.264	0.515	-0.0060	0.564	0.129	0.547	140.0
25.0	0.292	0.509	-0.0041	0.584	0.052	0.578	145.0
30.0	0.299	0.477	-0.0114	0.562	-0.021	-0.046	150.0
35.0	0.286	0.447	-0.0144	0.526	-0.070	0.293	155.0
40.0	0.231	0.407	-0.0128	0.461	-0.078	0.335	160.0
45.0	0.187	0.358	-0.0108	0.395	-0.088	0.377	165.0
50.0	0.131	0.307	-0.0053	0.325	-0.075	0.429	170.0
60.0	0.064	0.225	+0.0003	0.225	-0.064	0.504	180.0

Takelagemodell ViermastbarkOhne Stagesegel $A = 0,3248 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.22 $-\delta_S = 75^\circ$; $R_n = 0,320 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.276	0.332	+0.0064	0.181	0.392	0.484	75.0
5.0	0.401	0.389	+0.0084	0.327	0.452	0.481	80.0
10.0	0.535	0.456	+0.0163	0.493	0.501	0.467	85.0
15.0	0.642	0.539	+0.0206	0.642	0.539	0.462	90.0
20.0	0.751	0.620	+0.0270	0.803	0.553	0.451	95.0
25.0	0.809	0.717	+0.0273	0.922	0.566	0.452	100.0
30.0	0.794	0.795	+0.0279	0.973	0.562	0.450	105.0
35.0	0.748	0.852	+0.0216	0.995	0.545	0.460	110.0
40.0	0.673	0.906	+0.0069	0.993	0.537	0.487	115.0
45.0	0.599	0.950	+0.0104	0.994	0.524	0.480	120.0
55.0	0.410	0.991	+0.0081	0.951	0.495	0.484	130.0
65.0	0.233	0.951	+0.0088	0.878	0.433	0.480	140.0
75.0	0.079	0.820	-0.0142	0.750	0.341	0.542	150.0
85.0	-0.038	0.620	-0.0101	0.569	0.248	0.541	160.0
90.0	-0.070	0.499	-0.0173	0.464	0.197	0.588	165.0

Tab.23 $-\delta_S = 90^\circ$; $R_n = 0,320 \cdot 10^6$

0.0	0.232	0.361	-0.0033	0.232	0.361	0.509	90.0
5.0	0.332	0.392	-0.0072	0.365	0.361	0.520	95.0
10.0	0.451	0.441	-0.0042	0.521	0.356	0.512	100.0
15.0	0.579	0.497	+0.0009	0.688	0.330	0.497	105.0
20.0	0.673	0.581	+0.0042	0.831	0.316	0.487	110.0
25.0	0.744	0.661	+0.0059	0.953	0.285	0.479	115.0
30.0	0.748	0.734	+0.0065	1.015	0.261	0.475	120.0
35.0	0.679	0.760	+0.0005	0.992	0.233	0.498	125.0
40.0	0.590	0.796	-0.0034	0.964	0.231	0.515	130.0
45.0	0.521	0.818	-0.0111	0.947	0.210	0.553	135.0
50.0	0.447	0.839	-0.0051	0.930	0.197	0.526	140.0
60.0	0.300	0.804	-0.0086	0.846	0.142	0.560	150.0
70.0	0.136	0.634	-0.0042	0.642	0.089	0.547	160.0
80.0	0.023	0.410	-0.0081	0.408	0.049	0.667	170.0
90.0	-0.029	0.354	-0.0107	0.354	0.029	0.869	180.0

Tab.24 $-\delta_S = 110^\circ$; $R_n = 0,330 \cdot 10^6$

0.0	0.178	0.404	-0.0165	0.306	0.319	0.552	110.0
5.0	0.293	0.424	-0.0179	0.445	0.261	0.569	115.0
10.0	0.386	0.453	-0.0182	0.560	0.199	0.592	120.0
15.0	0.492	0.499	-0.0152	0.689	0.127	0.620	125.0
20.0	0.632	0.563	-0.0168	0.846	0.025	1.163	130.0
25.0	0.673	0.628	-0.0168	0.920	-0.032	-0.029	135.0
30.0	0.630	0.665	-0.0186	0.914	-0.056	0.166	140.0
35.0	0.543	0.674	-0.0258	0.863	-0.058	0.055	145.0
40.0	0.450	0.668	-0.0207	0.803	-0.056	0.128	150.0
45.0	0.372	0.645	-0.0224	0.742	-0.064	0.151	155.0
50.0	0.279	0.588	-0.0098	0.648	-0.061	0.339	160.0
60.0	0.114	0.416	-0.0018	0.429	-0.040	0.454	170.0
70.0	0.040	0.628	+0.0031	0.628	-0.040	0.576	180.0

Takelagemodell ViermastbarkOhne Stagesegel $A = 0,3248 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.19 $-\delta_S = 30^\circ$; $R_n = 0,321 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.212	0.156	-0.0066	-0.029	0.262	0.525	30.0
5.0	0.386	0.194	+0.0162	0.063	0.427	0.462	35.0
10.0	0.569	0.265	+0.0440	0.163	0.607	0.427	40.0
15.0	0.744	0.359	+0.0683	0.272	0.780	0.412	45.0
20.0	0.857	0.472	+0.0932	0.353	0.912	0.398	50.0
25.0	0.957	0.608	+0.0928	0.435	1.047	0.411	55.0
30.0	0.965	0.725	+0.0859	0.473	1.110	0.423	60.0
35.0	0.981	0.864	+0.0834	0.524	1.198	0.430	65.0
40.0	0.926	0.979	+0.0718	0.535	1.236	0.442	70.0
45.0	0.879	1.076	+0.0747	0.571	1.267	0.441	75.0
50.0	0.779	1.161	+0.0728	0.565	1.278	0.443	80.0
60.0	0.599	1.272	+0.0580	0.599	1.272	0.454	90.0
70.0	0.376	1.342	+0.0492	0.604	1.256	0.461	100.0
80.0	0.152	1.347	+0.0366	0.604	1.213	0.470	110.0
90.0	-0.066	1.280	+0.0371	0.583	1.141	0.467	120.0

Tab.20 $-\delta_S = 45^\circ$; $R_n = 0,321 \cdot 10^6$

0.0	0.291	0.219	+0.0002	0.051	0.361	0.499	45.0
5.0	0.444	0.269	+0.0184	0.167	0.491	0.463	50.0
10.0	0.626	0.342	+0.0399	0.316	0.639	0.438	55.0
15.0	0.770	0.441	+0.0585	0.447	0.767	0.424	60.0
20.0	0.887	0.555	+0.0756	0.569	0.878	0.414	65.0
25.0	0.965	0.684	+0.0840	0.673	0.973	0.414	70.0
30.0	0.973	0.807	+0.0761	0.731	1.031	0.426	75.0
35.0	0.950	0.908	+0.0717	0.777	1.059	0.432	80.0
40.0	0.872	0.994	+0.0635	0.782	1.066	0.440	85.0
45.0	0.779	1.059	+0.0447	0.779	1.059	0.458	90.0
50.0	0.712	1.127	+0.0390	0.807	1.061	0.463	95.0
55.0	0.614	1.218	+0.0487	0.816	1.093	0.455	100.0
65.0	0.399	1.261	+0.0349	0.807	1.049	0.467	110.0
75.0	0.186	1.250	+0.0270	0.786	0.989	0.473	120.0
85.0	-0.015	1.184	+0.0290	0.749	0.916	0.468	130.0
90.0	-0.107	1.101	+0.0252	0.703	0.854	0.470	135.0

Tab.21 $-\delta_S = 60^\circ$; $R_n = 0,320 \cdot 10^6$

0.0	0.314	0.292	+0.0102	0.126	0.410	0.475	60.0
5.0	0.463	0.344	+0.0227	0.274	0.508	0.455	65.0
10.0	0.613	0.418	+0.0327	0.434	0.602	0.446	70.0
15.0	0.747	0.509	+0.0460	0.590	0.685	0.433	75.0
20.0	0.872	0.618	+0.0568	0.751	0.760	0.425	80.0
25.0	0.918	0.723	+0.0535	0.852	0.801	0.433	85.0
30.0	0.895	0.821	+0.0480	0.895	0.821	0.442	90.0
35.0	0.833	0.898	+0.0419	0.908	0.822	0.449	95.0
40.0	0.770	0.973	+0.0325	0.928	0.825	0.461	100.0
45.0	0.706	1.027	+0.0330	0.947	0.809	0.459	105.0
50.0	0.610	1.077	+0.0198	0.941	0.803	0.475	110.0
60.0	0.412	1.130	+0.0265	0.922	0.773	0.466	120.0
70.0	0.216	1.125	+0.0113	0.889	0.723	0.484	130.0
80.0	0.033	1.049	+0.0128	0.824	0.649	0.480	140.0
90.0	-0.099	0.806	-0.0038	0.649	0.489	0.508	150.0

Takelagemodell ViermastbarkReffzustand $A = 0,3725 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.25 $-\delta_S = 30^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.276	0.186	+0.0270	-0.023	0.332	0.419	30.0
5.0	0.437	0.243	+0.0535	0.052	0.497	0.392	35.0
10.0	0.600	0.316	+0.0787	0.144	0.663	0.381	40.0
15.0	0.712	0.411	+0.0936	0.213	0.794	0.382	45.0
20.0	0.821	0.533	+0.1128	0.287	0.936	0.379	50.0
25.0	0.882	0.658	+0.1248	0.346	1.045	0.381	55.0
30.0	0.868	0.740	+0.1091	0.382	1.075	0.399	60.0
35.0	0.862	0.844	+0.1035	0.424	1.129	0.408	65.0
40.0	0.794	0.933	+0.0979	0.427	1.148	0.415	70.0
45.0	0.740	0.991	+0.0769	0.458	1.148	0.433	75.0
50.0	0.659	1.051	+0.0724	0.466	1.150	0.437	80.0
60.0	0.484	1.140	+0.0595	0.484	1.140	0.448	90.0
70.0	0.294	1.161	+0.0455	0.491	1.092	0.458	100.0
80.0	0.107	1.136	+0.0339	0.489	1.031	0.467	110.0
90.0	-0.073	1.063	+0.0237	0.468	0.957	0.475	120.0

Tab.26 $-\delta_S = 45^\circ$; $R_n = 0,323 \cdot 10^6$

0.0	0.375	0.293	+0.0503	0.058	0.473	0.394	45.0
5.0	0.525	0.354	+0.0621	0.175	0.608	0.398	50.0
10.0	0.628	0.442	+0.0843	0.261	0.722	0.383	55.0
15.0	0.712	0.540	+0.0896	0.347	0.824	0.391	60.0
20.0	0.754	0.628	+0.0803	0.418	0.888	0.409	65.0
25.0	0.801	0.726	+0.0789	0.504	0.956	0.417	70.0
30.0	0.780	0.809	+0.0713	0.544	0.984	0.427	75.0
35.0	0.754	0.904	+0.0717	0.585	1.022	0.430	80.0
40.0	0.699	0.964	+0.0681	0.612	1.021	0.433	85.0
45.0	0.641	1.025	+0.0631	0.641	1.025	0.438	90.0
55.0	0.484	1.078	+0.0448	0.664	0.978	0.454	100.0
65.0	0.294	1.092	+0.0258	0.650	0.925	0.472	110.0
75.0	0.126	1.065	+0.0165	0.642	0.859	0.481	120.0
85.0	-0.037	0.976	+0.0203	0.599	0.772	0.474	130.0
90.0	-0.080	0.928	+0.0154	0.600	0.713	0.478	135.0

Tab.27 $-\delta_S = 60^\circ$; $R_n = 0,322 \cdot 10^6$

0.0	0.396	0.414	+0.0522	0.136	0.557	0.406	60.0
5.0	0.516	0.468	+0.0508	0.269	0.643	0.421	65.0
10.0	0.587	0.548	+0.0660	0.364	0.716	0.408	70.0
15.0	0.655	0.624	+0.0648	0.471	0.772	0.416	75.0
20.0	0.665	0.686	+0.0608	0.536	0.792	0.423	80.0
25.0	0.679	0.762	+0.0577	0.610	0.818	0.429	85.0
30.0	0.672	0.831	+0.0565	0.672	0.831	0.432	90.0
35.0	0.649	0.888	+0.0488	0.723	0.829	0.441	95.0
40.0	0.587	0.927	+0.0427	0.739	0.811	0.447	100.0
45.0	0.526	0.958	+0.0411	0.756	0.789	0.448	105.0
50.0	0.445	0.979	+0.0313	0.752	0.768	0.459	110.0
60.0	0.297	0.986	+0.0063	0.750	0.706	0.491	120.0
70.0	0.150	0.985	+0.0072	0.748	0.658	0.489	130.0
80.0	0.005	0.868	+0.0044	0.668	0.554	0.492	140.0
90.0	-0.088	0.662	0.0055	0.529	0.407	0.514	150.0

Takelagemodell ViermastbarkReffzustand $A = 0,3725 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$ Tab.28 $-\delta_S = 75^\circ$; $R_n = 0,324 \cdot 10^6$

ϵ_S	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}	ϵ
0.0	0.260	0.468	+0.0339	0.131	0.519	0.435	75.0
5.0	0.322	0.502	+0.0319	0.230	0.550	0.442	80.0
10.0	0.409	0.550	+0.0328	0.360	0.584	0.444	85.0
15.0	0.491	0.641	+0.0312	0.491	0.641	0.451	90.0
20.0	0.539	0.713	+0.0464	0.599	0.663	0.430	95.0
25.0	0.573	0.789	+0.0447	0.701	0.678	0.434	100.0
30.0	0.566	0.818	+0.0381	0.759	0.644	0.441	105.0
35.0	0.532	0.847	+0.0411	0.789	0.614	0.433	110.0
40.0	0.477	0.869	+0.0199	0.800	0.586	0.466	115.0
45.0	0.420	0.875	+0.0149	0.801	0.548	0.473	120.0
55.0	0.284	0.861	-0.0043	0.771	0.476	0.509	130.0
65.0	0.158	0.823	-0.0024	0.732	0.408	0.506	140.0
75.0	0.046	0.661	-0.0064	0.595	0.291	0.522	150.0
85.0	-0.033	0.502	-0.0141	0.461	0.203	0.569	160.0
90.0	-0.061	0.386	-0.0173	0.357	0.159	0.609	165.0

Tab.29 $-\delta_S = 90^\circ$; $R_n = 0,325 \cdot 10^6$

0.0	0.186	0.519	+0.0211	0.186	0.519	0.459	90.0
5.0	0.251	0.540	+0.0199	0.297	0.516	0.461	95.0
10.0	0.301	0.586	+0.0239	0.398	0.525	0.454	100.0
15.0	0.403	0.623	+0.0283	0.550	0.497	0.443	105.0
20.0	0.460	0.663	+0.0150	0.659	0.465	0.468	110.0
25.0	0.464	0.724	+0.0187	0.726	0.460	0.459	115.0
30.0	0.468	0.739	+0.0225	0.775	0.406	0.445	120.0
35.0	0.446	0.762	+0.0186	0.802	0.369	0.450	125.0
40.0	0.407	0.748	+0.0093	0.792	0.311	0.470	130.0
45.0	0.351	0.736	-0.0072	0.768	0.272	0.526	135.0
50.0	0.308	0.739	-0.0085	0.764	0.239	0.536	140.0
60.0	0.210	0.692	+0.0002	0.705	0.164	0.499	150.0
70.0	0.099	0.504	-0.0041	0.507	0.079	0.551	160.0
80.0	0.016	0.331	-0.0110	0.329	0.042	0.762	170.0
90.0	-0.021	0.290	-0.0090	0.290	0.021	0.924	180.0

Tab.30 $-\delta_S = 110^\circ$; $R_n = 0,322 \cdot 10^6$

0.0	0.054	0.519	+0.0084	0.229	0.469	0.482	110.0
5.0	0.106	0.511	+0.0037	0.312	0.418	0.491	115.0
10.0	0.207	0.535	+0.0076	0.447	0.360	0.479	120.0
15.0	0.305	0.560	-0.0004	0.571	0.284	0.501	125.0
20.0	0.363	0.564	+0.0005	0.641	0.199	0.497	130.0
25.0	0.404	0.587	-0.0061	0.701	0.130	0.547	135.0
30.0	0.403	0.583	-0.0116	0.706	0.067	0.675	140.0
35.0	0.391	0.583	-0.0144	0.702	0.015	1.483	145.0
40.0	0.347	0.573	-0.0135	0.669	-0.014	-0.469	150.0
45.0	0.279	0.538	-0.0102	0.606	-0.025	0.100	155.0
50.0	0.224	0.476	-0.0162	0.524	-0.048	0.161	160.0
60.0	0.090	0.336	-0.0077	0.346	-0.031	0.248	170.0
70.0	0.035	0.262	-0.0042	0.262	-0.035	0.380	180.0

Takelagemodell Viermastbark

Ohne Segel $A_y = 0,0672 \text{ m}^2$; $L_{OA} = 1,0980 \text{ m}$; $-\delta_S = 90^\circ$

Tab.31a $R_n = 1,33 \cdot 10^6$

ϵ	c_C	c_D	c_N	c_X	c_Y	e/L_{OA}
0.0	0.022	0.611	0.0050	-0.611	0.022	0.273
10.0	0.044	0.630	0.0279	-0.613	0.153	0.318
20.0	0.066	0.663	0.0509	-0.600	0.289	0.324
30.0	0.077	0.711	0.0538	-0.577	0.422	0.372
40.0	0.103	0.748	0.0693	-0.507	0.560	0.376
50.0	0.125	0.762	0.0694	-0.394	0.665	0.396
60.0	0.133	0.807	0.0647	-0.289	0.765	0.415
70.0	0.118	0.847	0.0625	-0.179	0.836	0.425
80.0	0.063	0.895	0.0351	-0.094	0.892	0.461
90.0	-0.029	0.910	0.0100	-0.030	0.910	0.489
100.0	-0.103	0.891	-0.0129	0.053	0.896	0.514
110.0	-0.162	0.851	-0.0208	0.139	0.855	0.524
120.0	-0.169	0.829	-0.0311	0.268	0.802	0.538
130.0	-0.140	0.762	-0.0266	0.383	0.674	0.540
140.0	-0.111	0.733	-0.0268	0.490	0.556	0.548
150.0	-0.096	0.685	-0.0247	0.545	0.426	0.558
160.0	-0.048	0.637	-0.0175	0.582	0.263	0.567
170.0	-0.015	0.589	-0.0103	0.578	0.117	0.588
180.0	0.041	0.578	-0.0022	0.578	-0.040	0.445

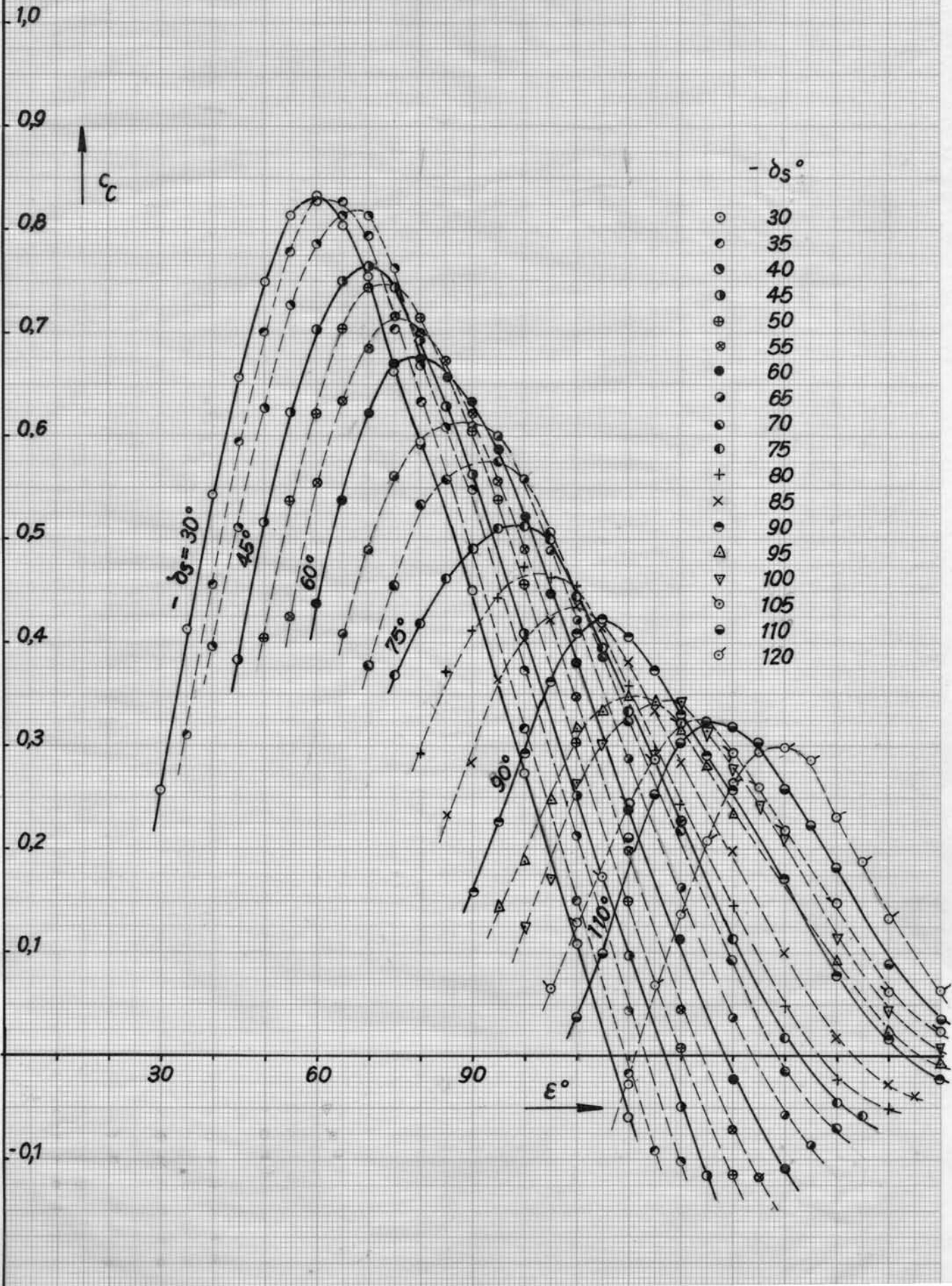
Tab.31b $R_n = 1,77 \cdot 10^6$

0.0	0.024	0.626	0.0026	-0.626	0.024	0.392
5.0	0.048	0.634	0.0128	-0.627	0.103	0.376
10.0	0.052	0.645	0.0204	-0.626	0.163	0.375
15.0	0.063	0.663	0.0332	-0.624	0.232	0.357
20.0	0.064	0.680	0.0422	-0.617	0.293	0.356
25.0	0.083	0.689	0.0410	-0.589	0.366	0.388
30.0	0.096	0.704	0.0512	-0.561	0.435	0.382
35.0	0.116	0.731	0.0578	-0.532	0.514	0.388
40.0	0.118	0.739	0.0654	-0.490	0.565	0.384
45.0	0.127	0.757	0.0681	-0.445	0.625	0.391
50.0	0.138	0.797	0.0684	-0.407	0.700	0.402
55.0	0.138	0.816	0.0686	-0.355	0.748	0.408
60.0	0.138	0.834	0.0637	-0.298	0.792	0.420
65.0	0.142	0.855	0.0676	-0.233	0.834	0.419
70.0	0.131	0.864	0.0614	-0.173	0.856	0.428
75.0	0.092	0.906	0.0579	-0.146	0.899	0.436
80.0	0.059	0.912	0.0416	-0.100	0.908	0.454
85.0	0.020	0.943	0.0330	-0.062	0.941	0.465
90.0	-0.018	0.937	0.0089	-0.018	0.937	0.490
95.0	-0.068	0.937	0.0039	0.014	0.940	0.496
100.0	-0.101	0.926	-0.0139	0.061	0.930	0.515
105.0	-0.142	0.906	-0.0229	0.097	0.912	0.525
110.0	-0.158	0.866	-0.0257	0.147	0.868	0.530
115.0	-0.158	0.860	-0.0321	0.220	0.846	0.538
120.0	-0.166	0.838	-0.0323	0.275	0.809	0.540
125.0	-0.155	0.825	-0.0387	0.346	0.765	0.550
130.0	-0.140	0.797	-0.0351	0.405	0.701	0.550
135.0	-0.125	0.775	-0.0353	0.460	0.637	0.556
140.0	-0.109	0.755	-0.0292	0.509	0.569	0.551
145.0	-0.101	0.716	-0.0282	0.529	0.494	0.557
150.0	-0.092	0.702	-0.0385	0.562	0.431	0.589
155.0	-0.074	0.676	-0.0235	0.581	0.352	0.567
160.0	-0.048	0.650	-0.0212	0.595	0.267	0.580
165.0	-0.022	0.610	-0.0215	0.583	0.179	0.620
170.0	-0.009	0.597	-0.0128	0.586	0.113	0.613
175.0	0.007	0.593	-0.0002	0.591	0.044	0.504

Viermastbark, alle Segel
 Querkraftbeiwerte

Fig. 6

$$C_c = f(\epsilon, \delta_s)$$



Viermastbark alle Segel
Widerstandsbeiwerte

Fig. 7

$$c_D = f(\epsilon, \delta_s)$$

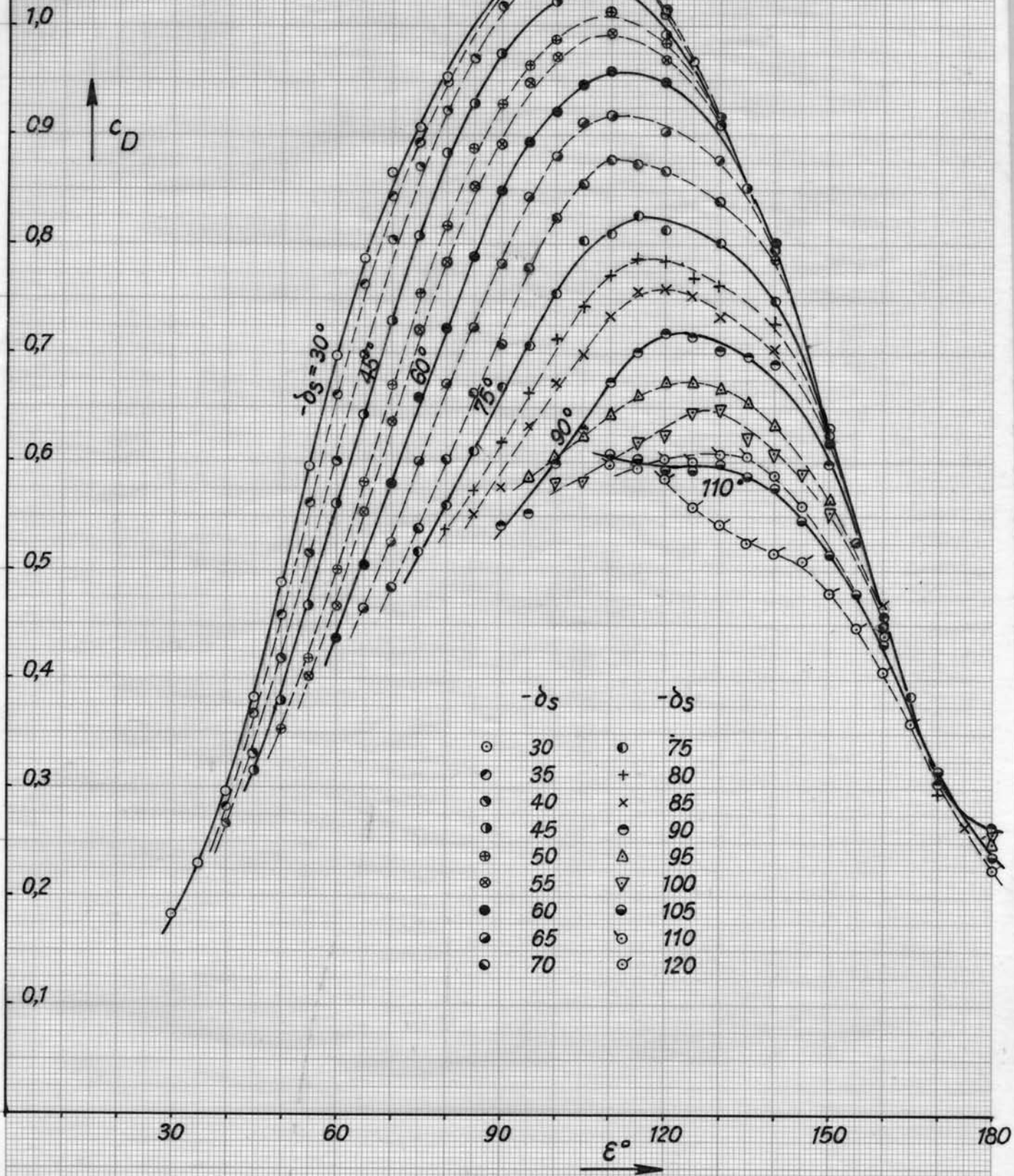
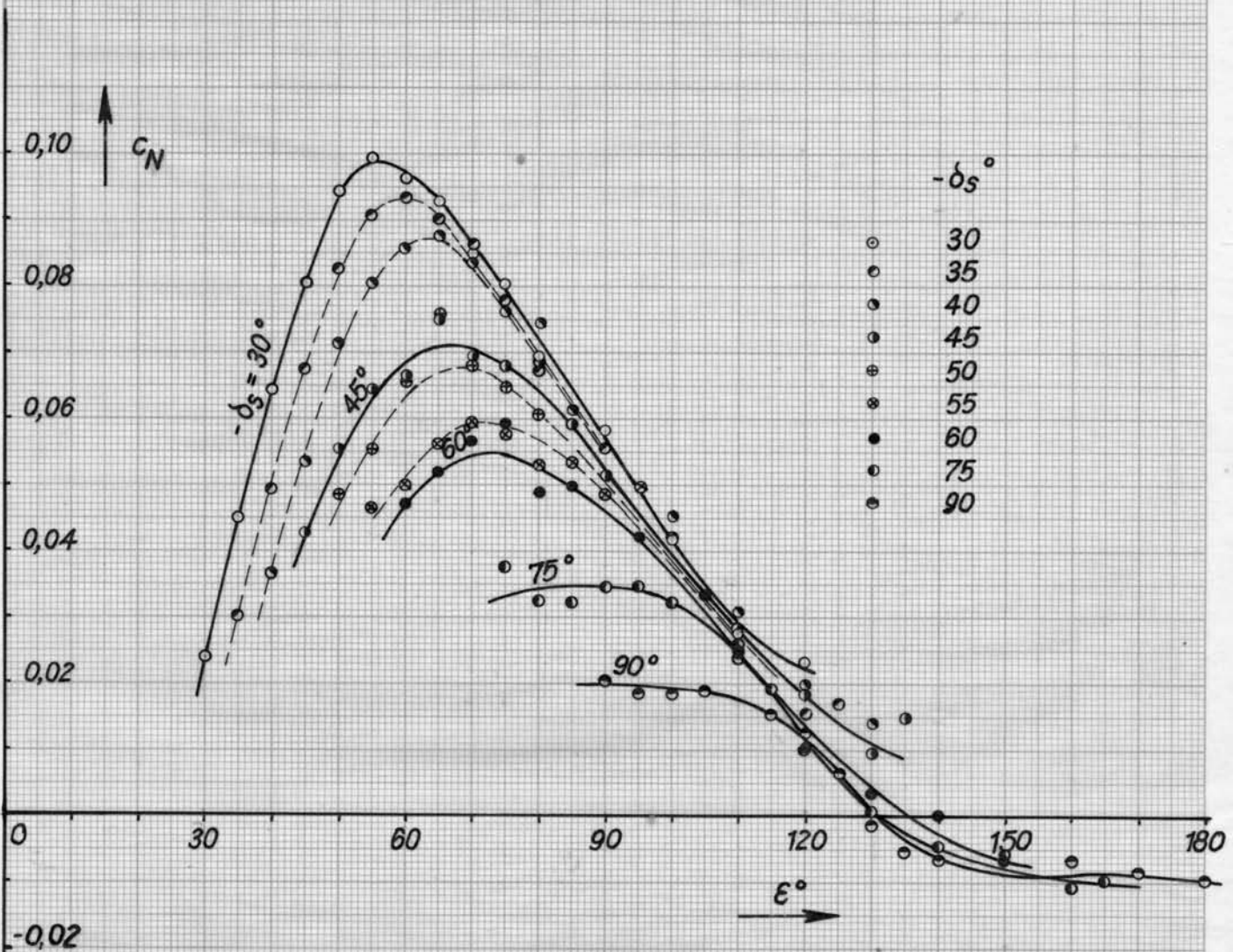


Fig. 8

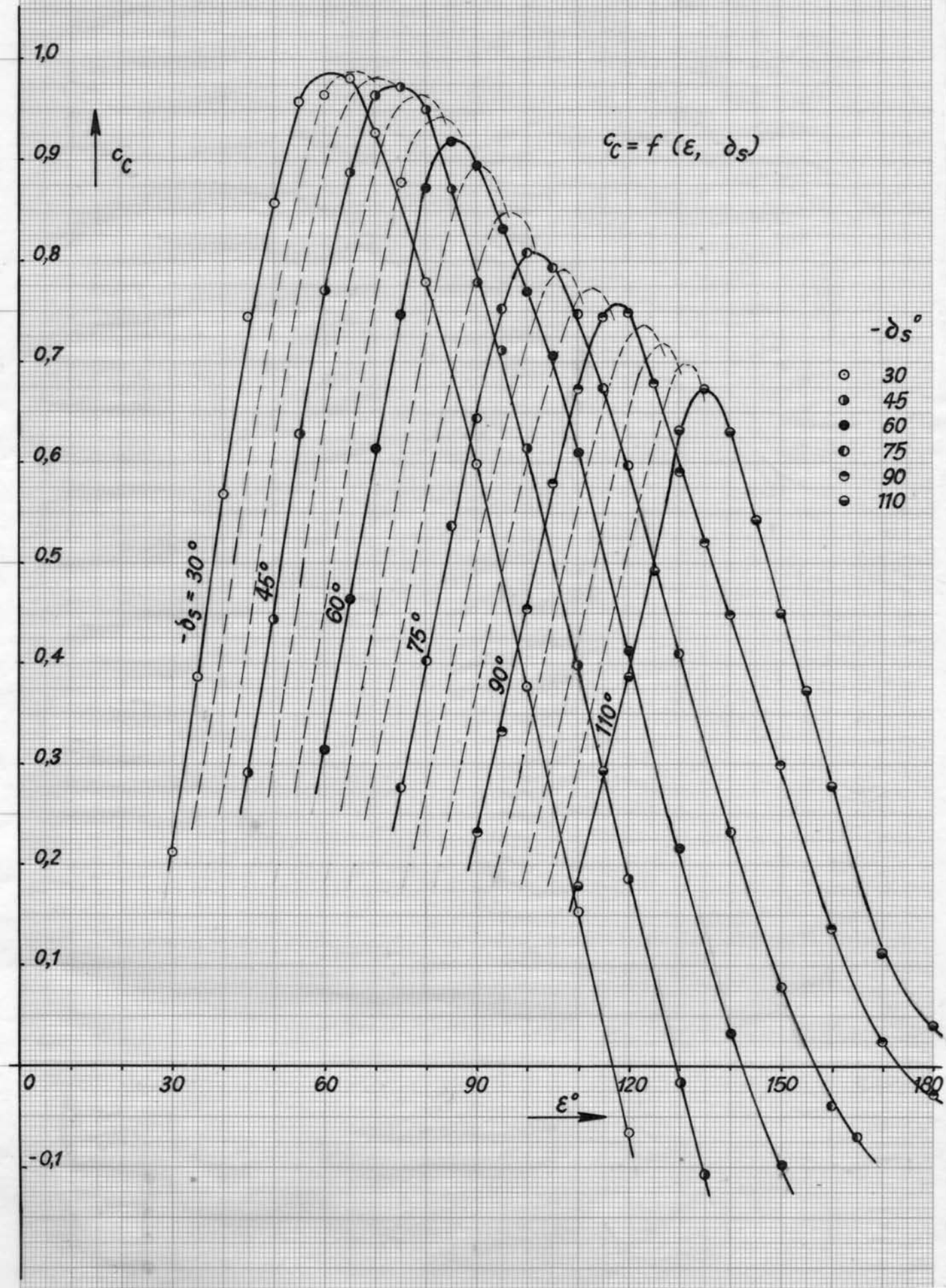
Viermastbark, alle Segel
Momentenbeiwerte

$$c_N = f(\epsilon, \delta_s)$$



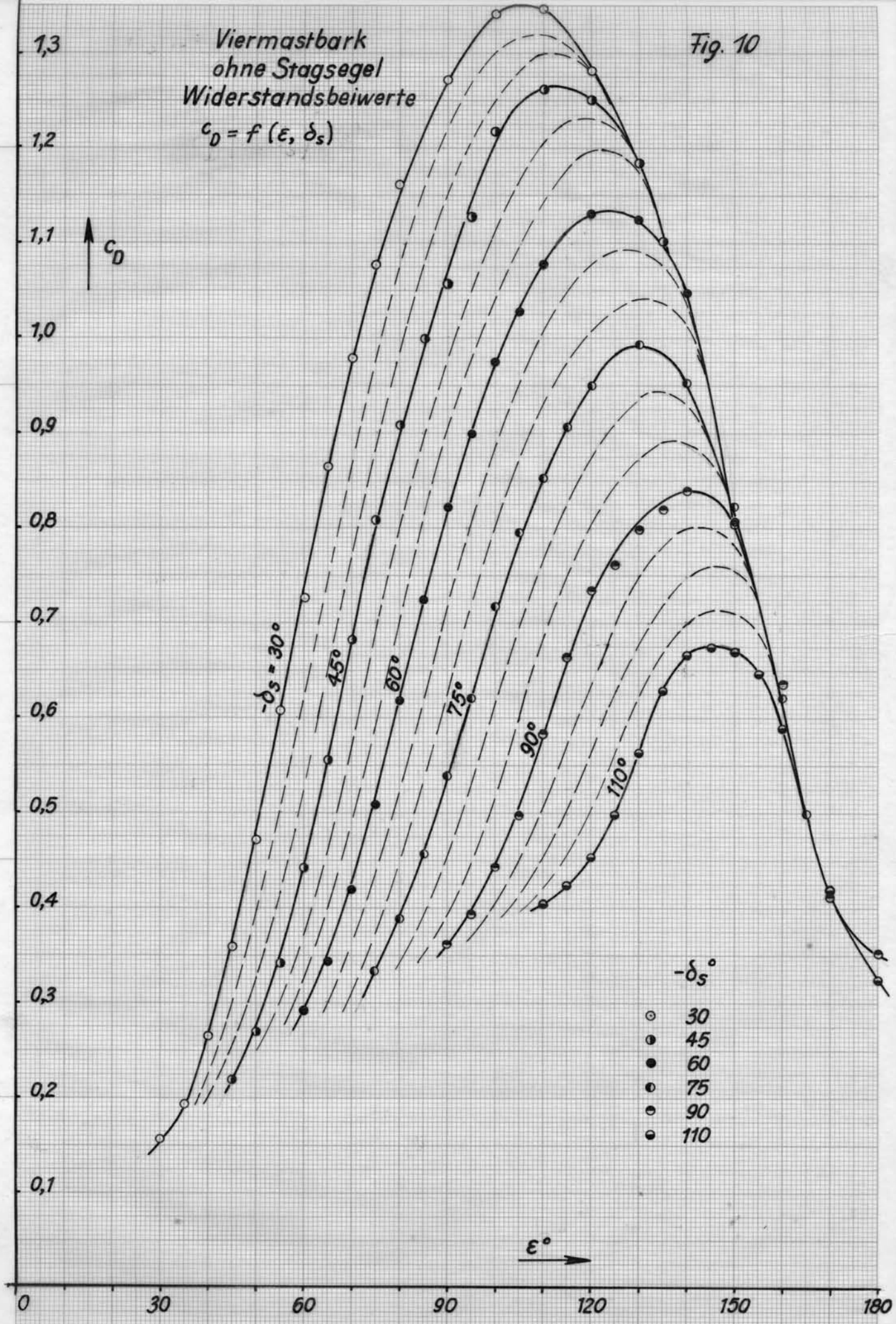
Viermastbark, ohne Stagesegel
 Querkraftbeiwerte

Fig. 9



Viermastbark
ohne Stagsegel
Widerstandsbeiwerte
 $c_D = f(\epsilon, \delta_s)$

Fig. 10



Viermastbark, Reffzustand
 Querkraftbeiwerte

$$c_c = f(\epsilon, \delta_s)$$

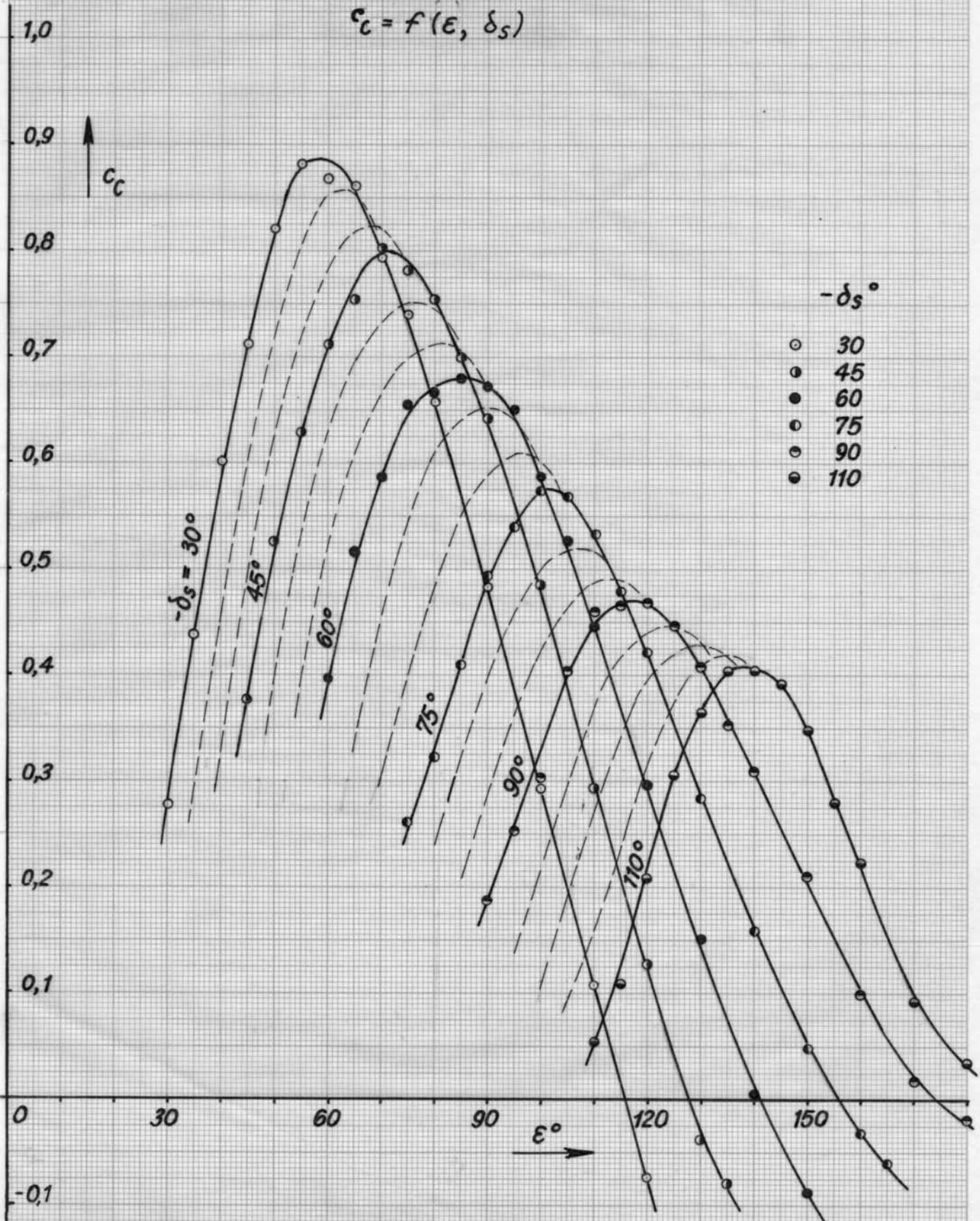
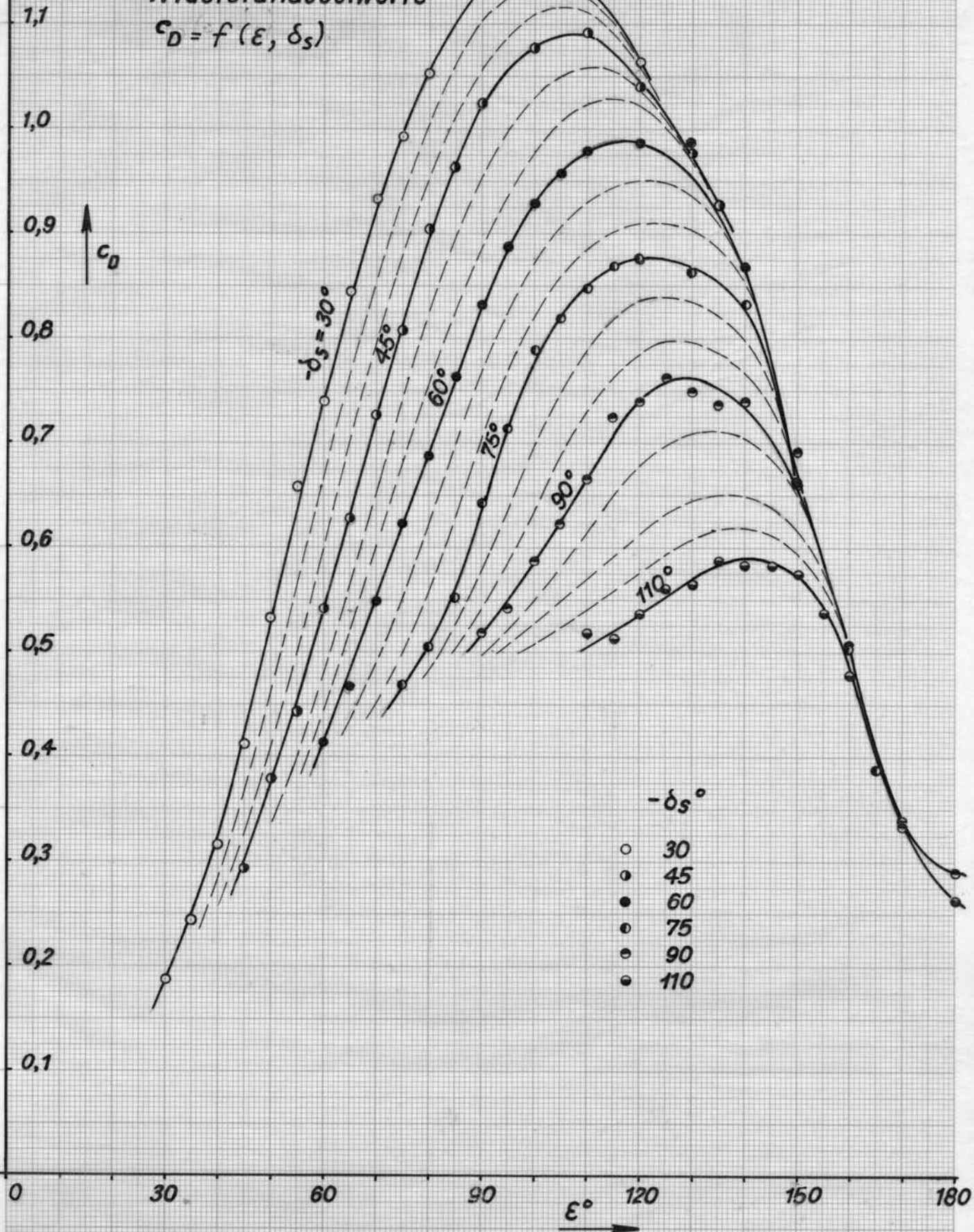


Fig. 13

Viermastbark,
 Reffzustand
 Widerstandsbeiwerte
 $c_D = f(\epsilon, \delta_s)$



Viermastbark, Reffzustand
Momentenbeiwerte

$$C_N = f(\epsilon, \delta_s)$$

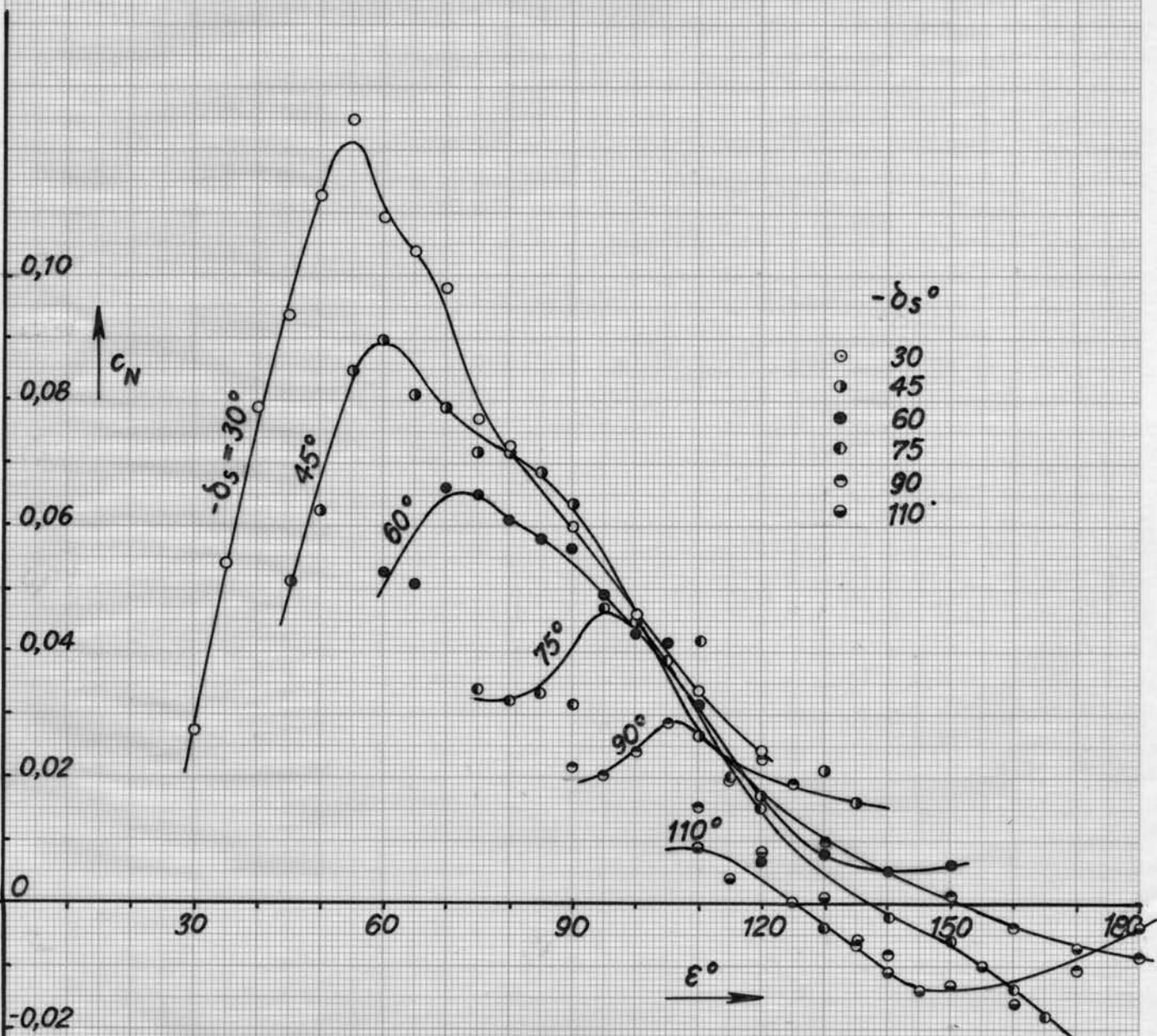
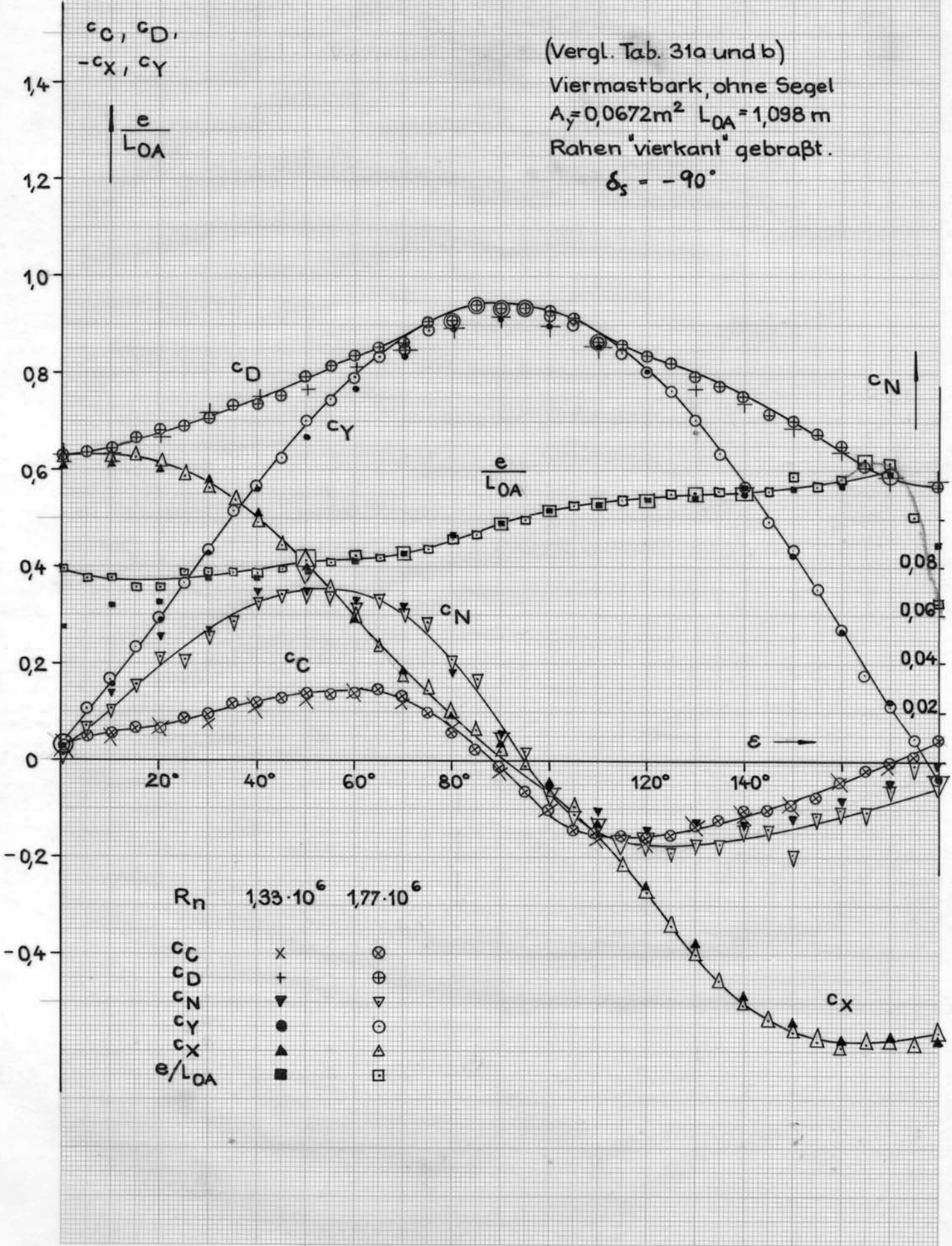


Fig. 15



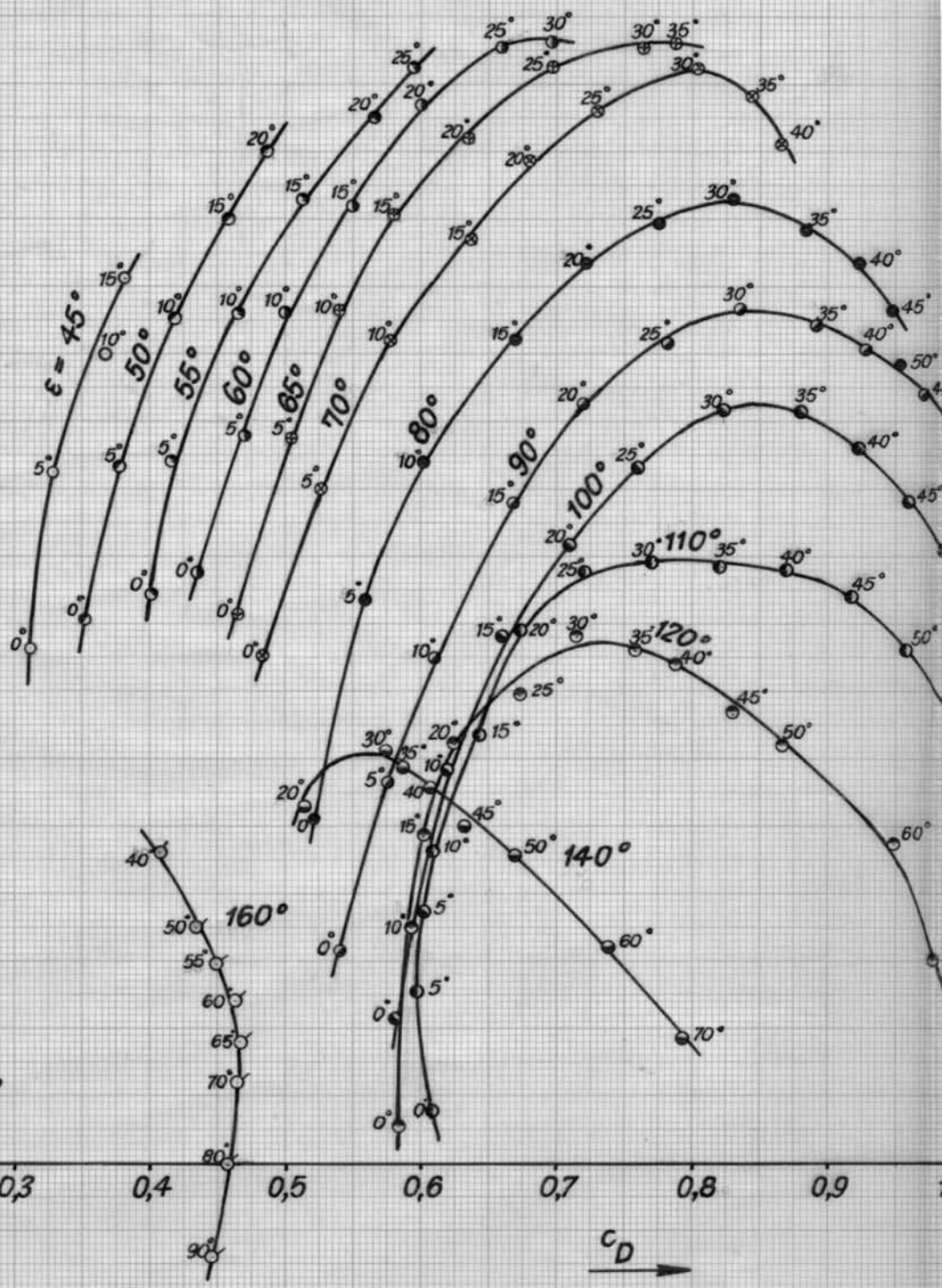
Viermastbark, alle Segel
Segelpolaren

$c_c = f(c_D)$ für $\epsilon = \text{konst.}$
 $\Lambda = 0,695$

0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
-0,1

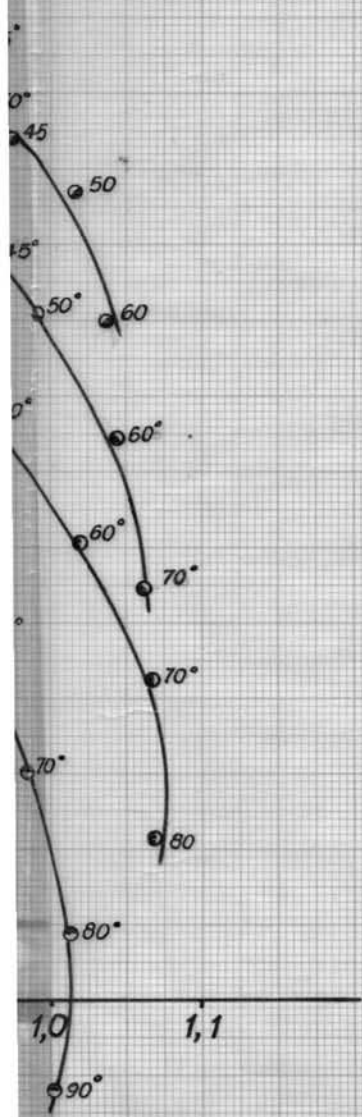
c_c

- ϵ°
- 45
 - 50
 - 55
 - 60
 - ⊕ 65
 - ⊗ 70
 - 80
 - 90
 - 100
 - 110
 - 120
 - 140
 - 160
 - 180



c_D

Fig. 16



Viermastbark, ohne Stagesegel
Segelpolaren

$c_c = f(c_D)$ für $\epsilon = \text{konst.}$
 $\Lambda = 0,924$

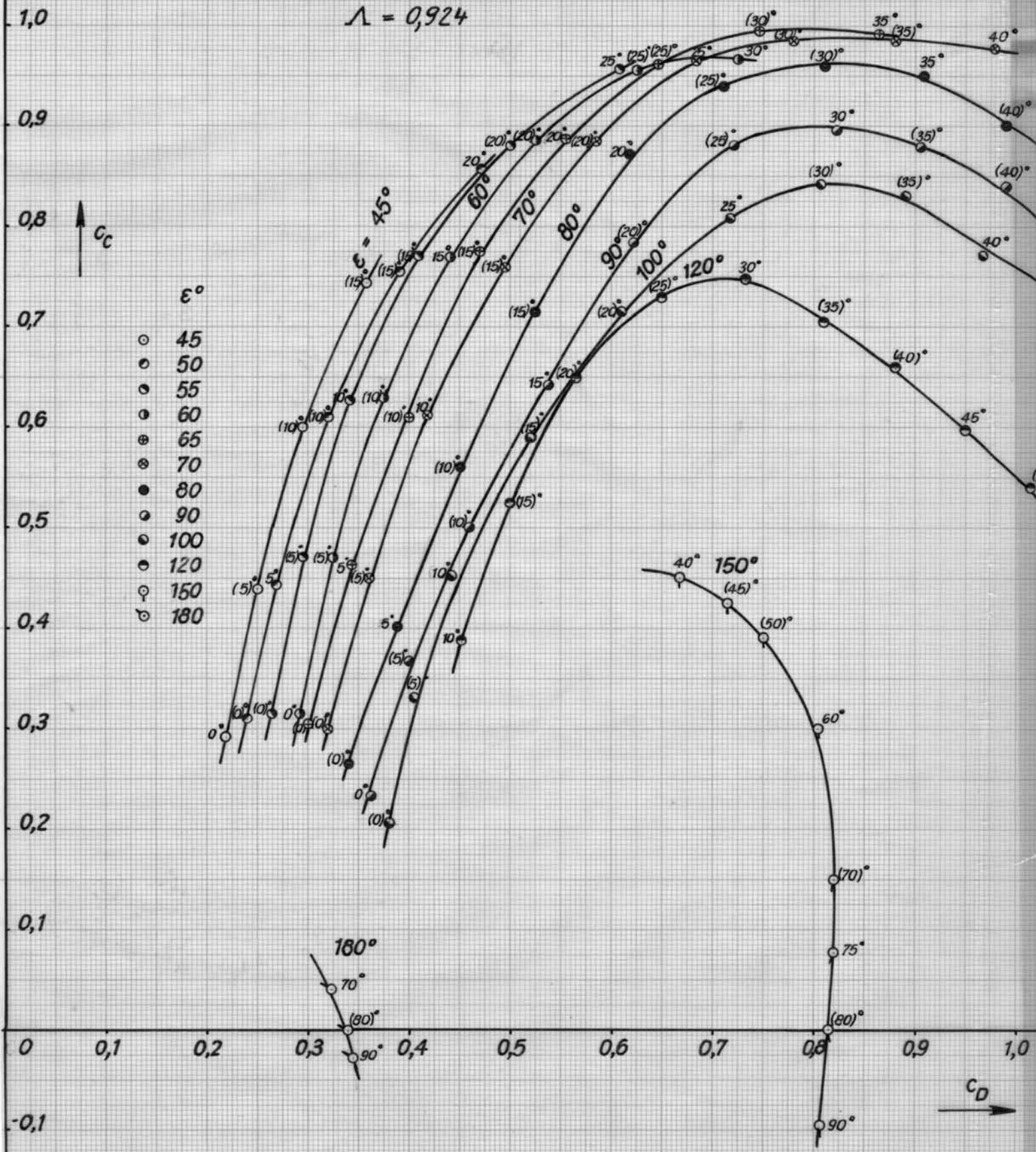
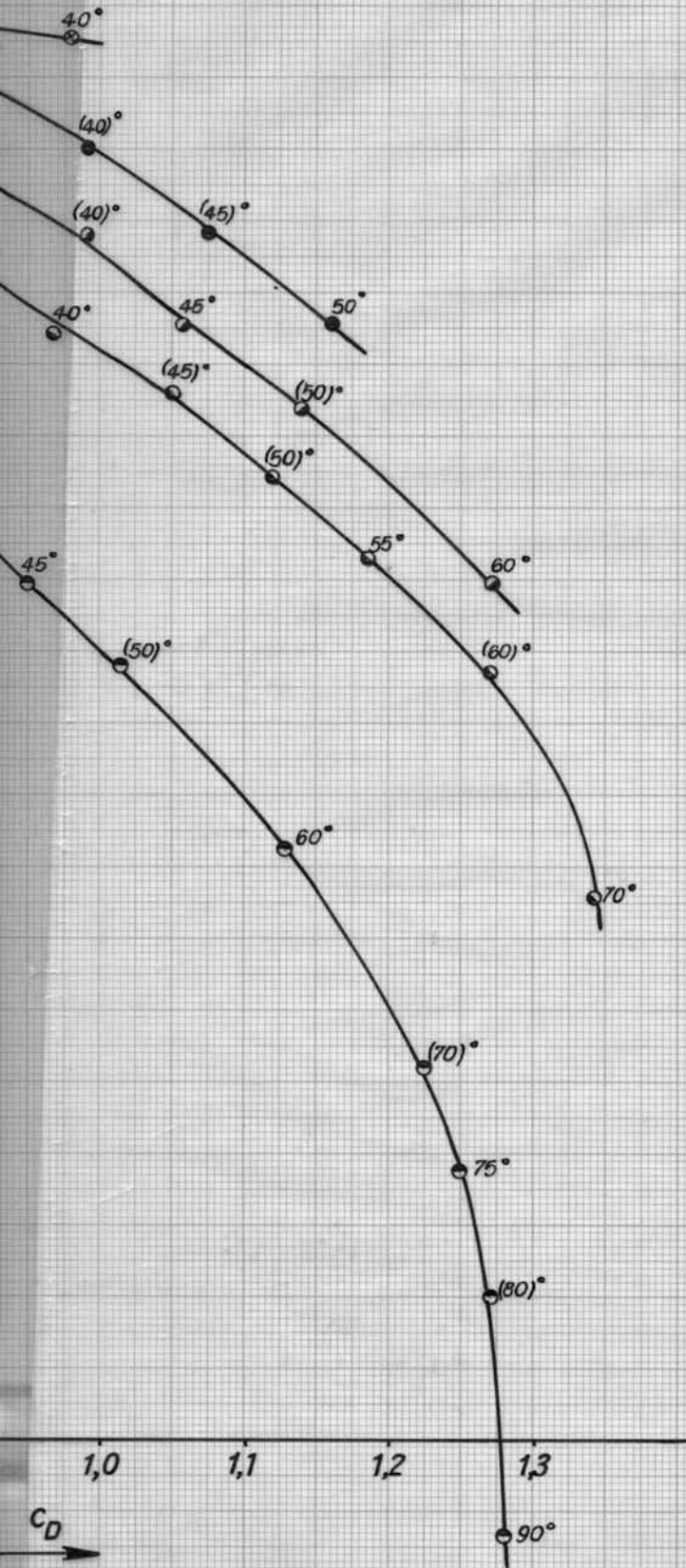


Fig. 17



Viermastbark, Reffzustand Segelpolaren

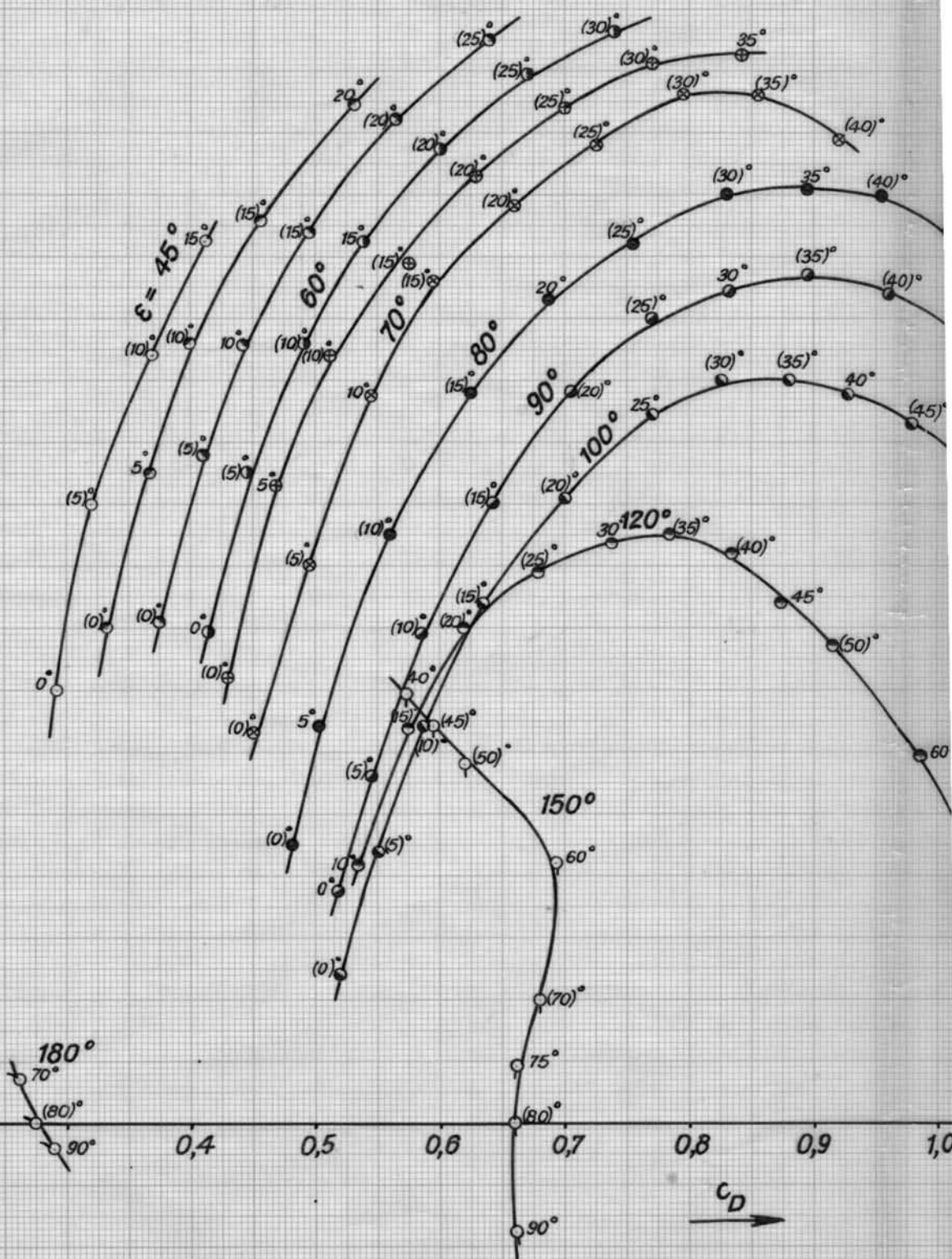
$c_c = f(c_D)$ für $\epsilon = \text{konst.}$

$\Lambda = 0,615$

1,0
0,9
0,8
0,7
0,6
0,5
0,4
0,3
0,2
0,1
0
-0,1

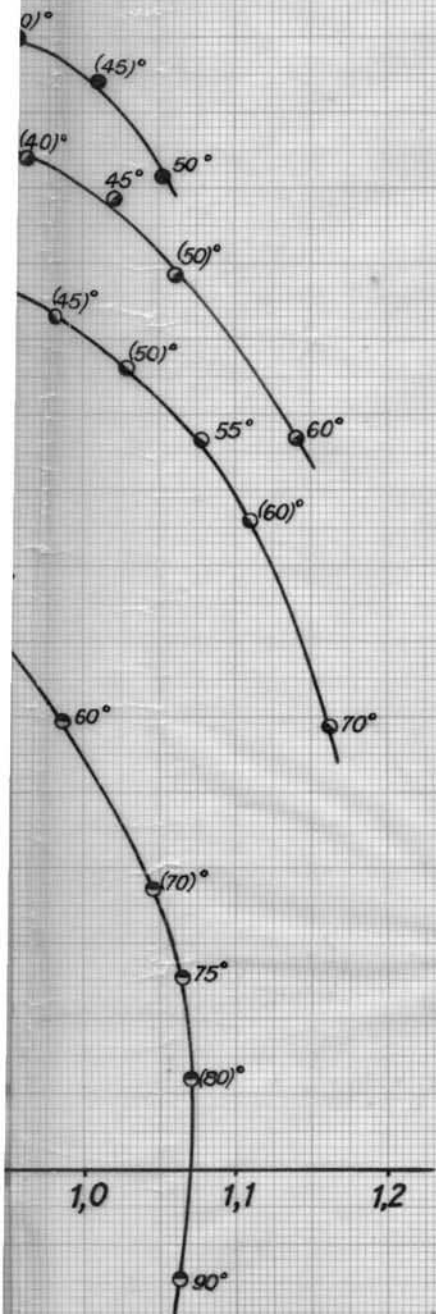
c_c ↑

- ϵ°
- 45
 - 50
 - 55
 - 60
 - ⊕ 65
 - ⊗ 70
 - 80
 - 90
 - 100
 - 120
 - 150
 - 180

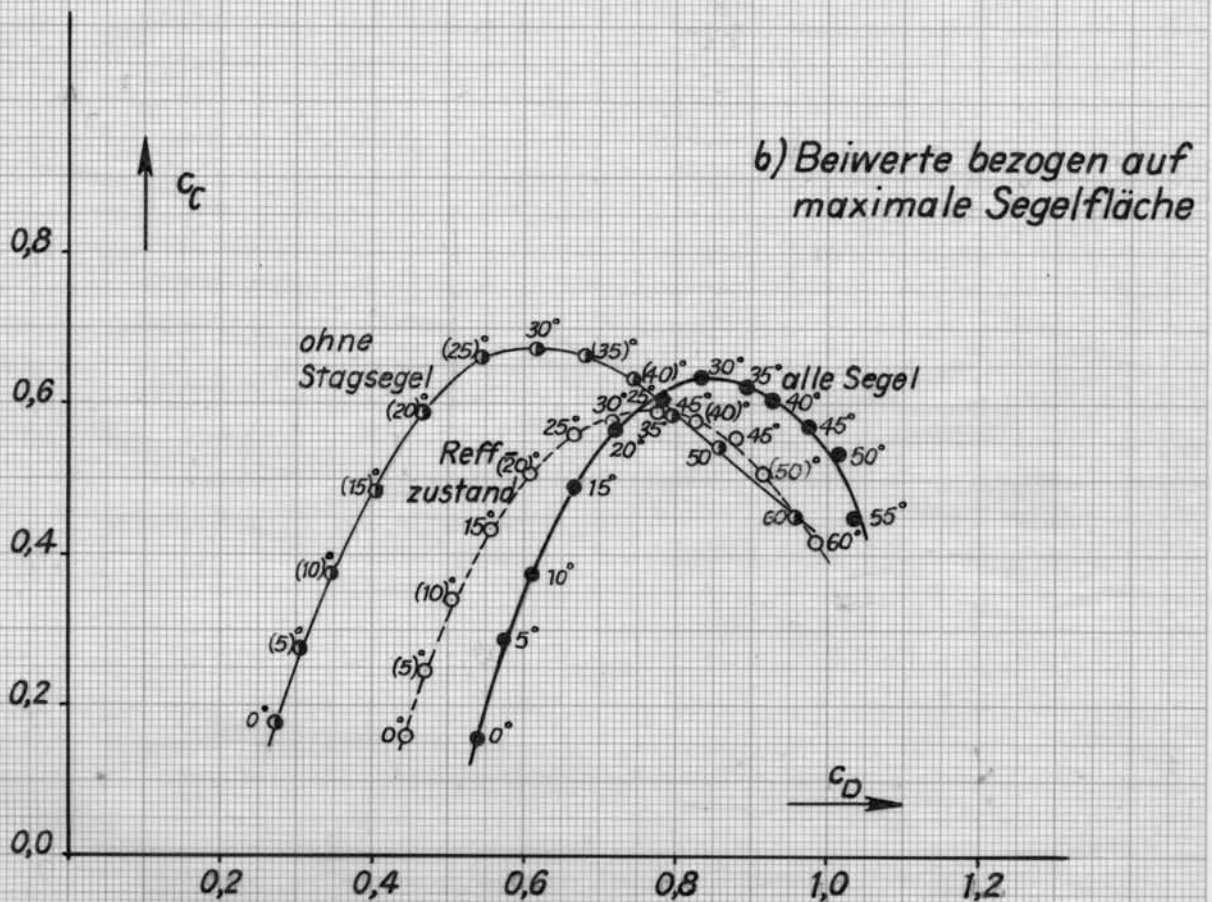
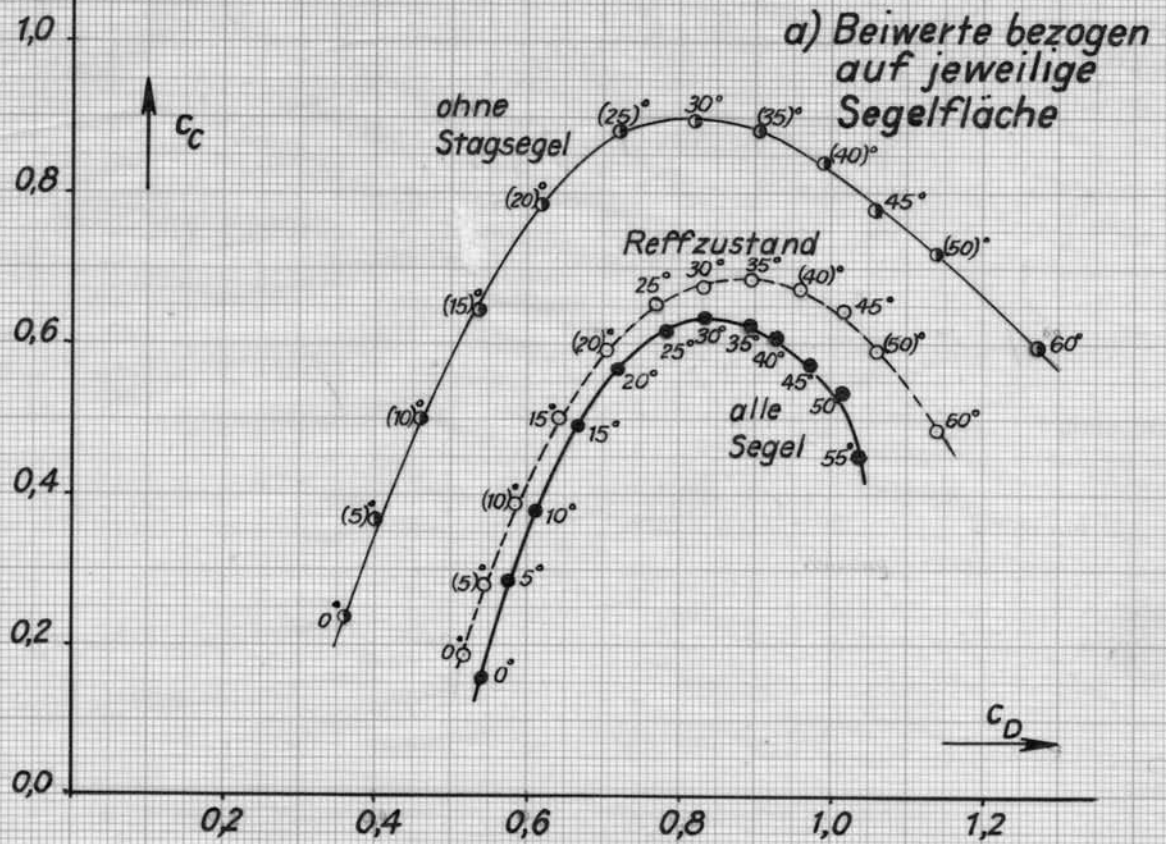


c_D →

Fig. 18



Vergleich der Segelpolaren Fig. 20
 $c_c = f(c_D)$
 für $\epsilon = 90^\circ$



Vergleich der Segelpolaren

Fig. 21

$$c_c = f(c_D)$$

bei $\epsilon = 120^\circ$

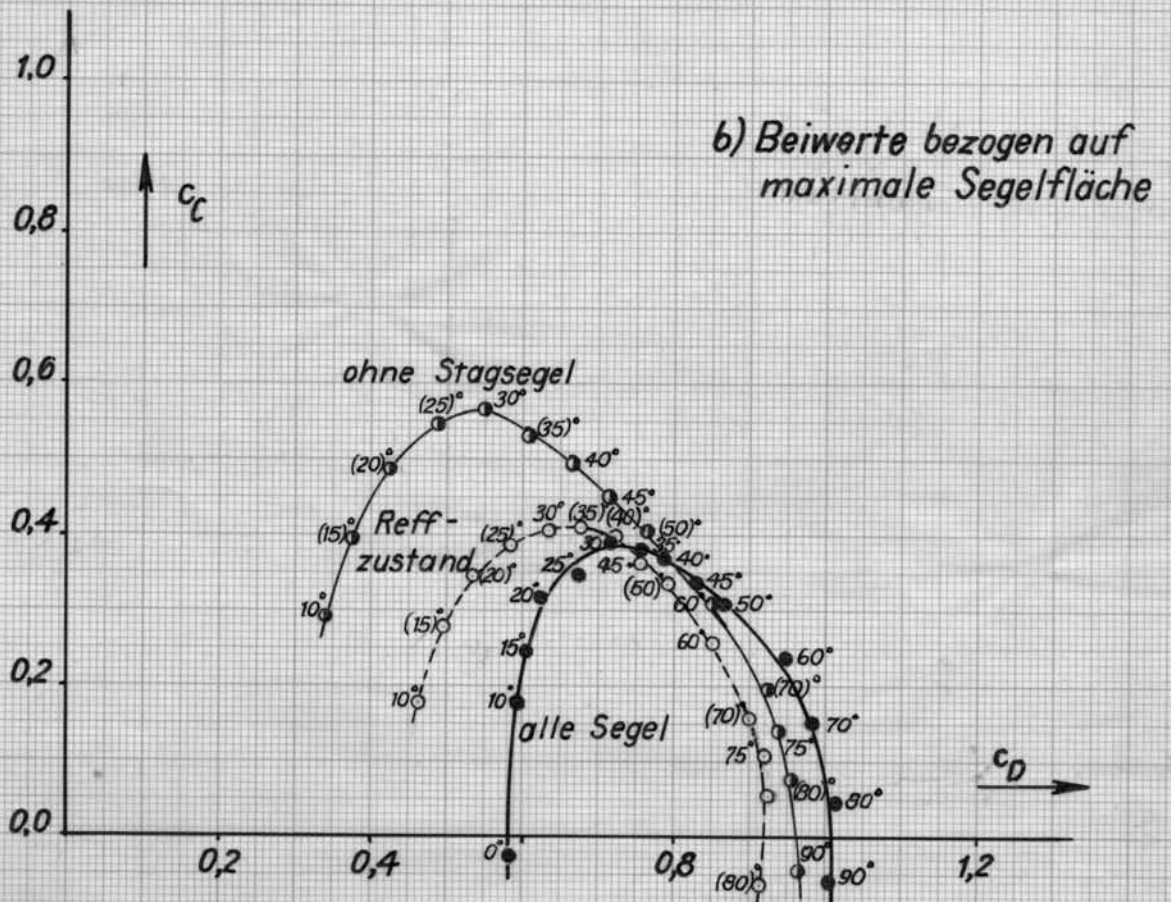
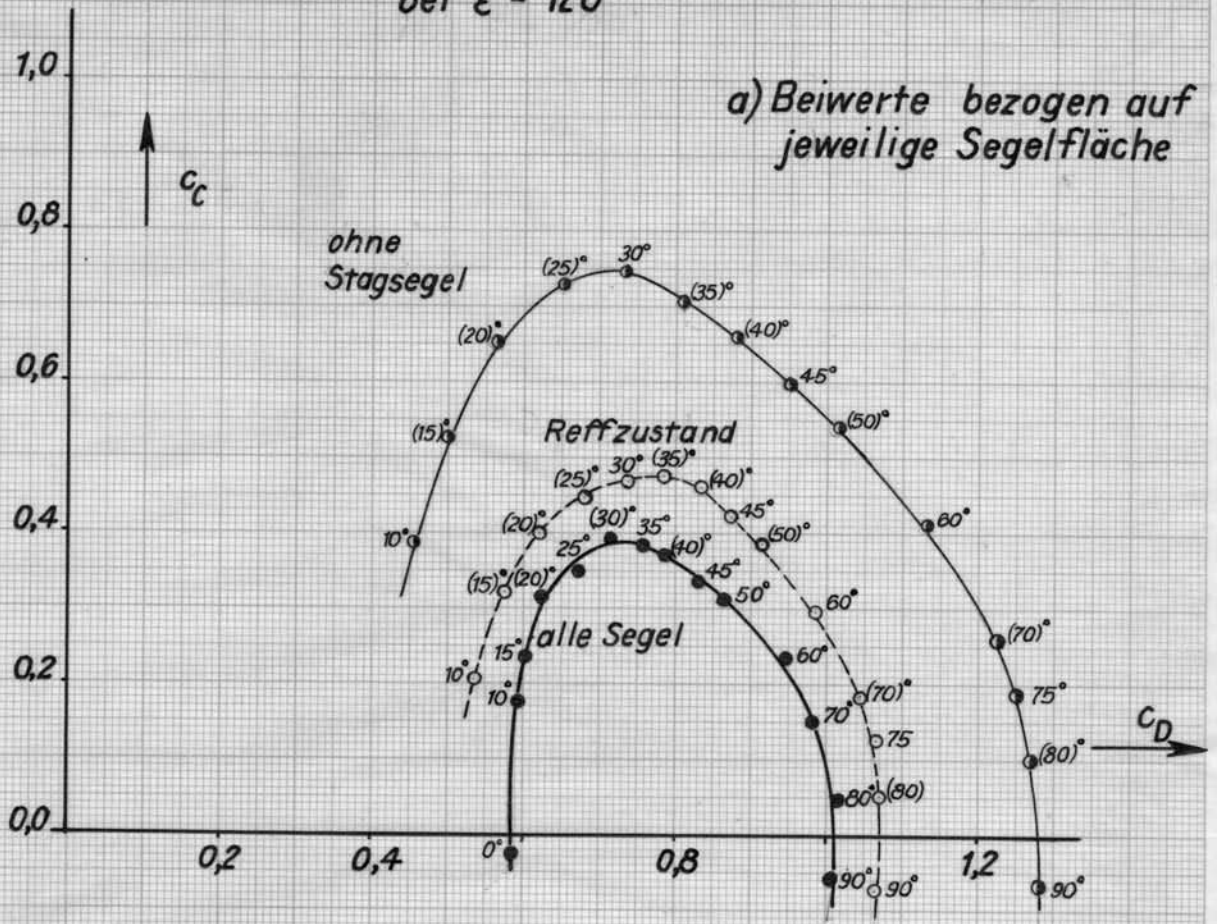


Fig. 5

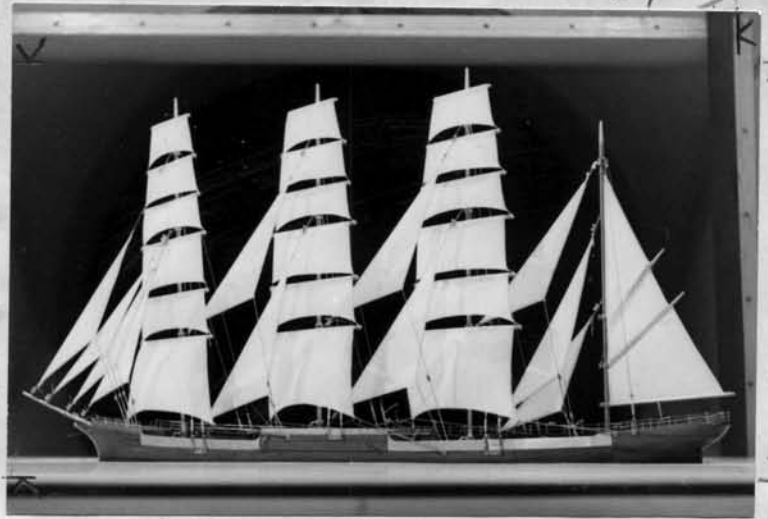


Fig. 5a und b

Takelagemodell, alle Segel,
 $\delta_S = 30^\circ$

100%

Fig. 5c

Takelagemodell,
ohne Stagesegel, $\delta_S = 45^\circ$



87,1% 82 mm

Fig. 5d

Takelagemodell,
ohne Royals und Bramstagesegel,
 $\delta_S = 30^\circ$

